POPULÄRE

WISSENSCHAFTLICHE

VORTRÄGE.



Holzstiche
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Papier
aus der Papier-Fabrik
der Gebrüder Vieweg zu Wendhausen
bei Braunschweig.



POPULÄRE WISSENSCHAFTLICHE VORTRÄGE

VON





H. HELMHOLTZ.

ERSTES HEFT.



MIT 26 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN.

BRAUNSCHWEIG,

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.

1865.

VORREDE.

Mannigfachen Anfragen Folge leistend, erlaube ich mir hier den Anfang einer Reihe von populären Vorlesungen, die ich bei verschiedenen Gelegenheiten gehalten habe, dem Publikum vorzulegen. Sie sind für Leser berechnet, welche, ohne selbst sich fachmässig mit naturwissenschaftlichen Studien zu beschäftigen, doch für die wissenschaftlichen Resultate dieser Studien interessirt sind. Der Schwierigkeit, welche sich bei gedruckten naturwissenschaftlichen Vorlesungen so sehr geltend macht, dass nämlich der Leser die angestellten Versuche nicht selbst sehen und hören kann, wie der Zuhörer, ist mit anerkennenswerther Bereitwilligkeit von Seiten des Verlegers durch möglichst zahlreiche Abbildungen nachgeholfen worden.

Die erste und zweite Vorlesung sind schon früher gedruckt gewesen, die erste in einem Universitätsprogramm, welches nicht in den Buchhandel gekommen ist, die zweite in der Kieler Monatsschrift, Mai 1853, wo sie

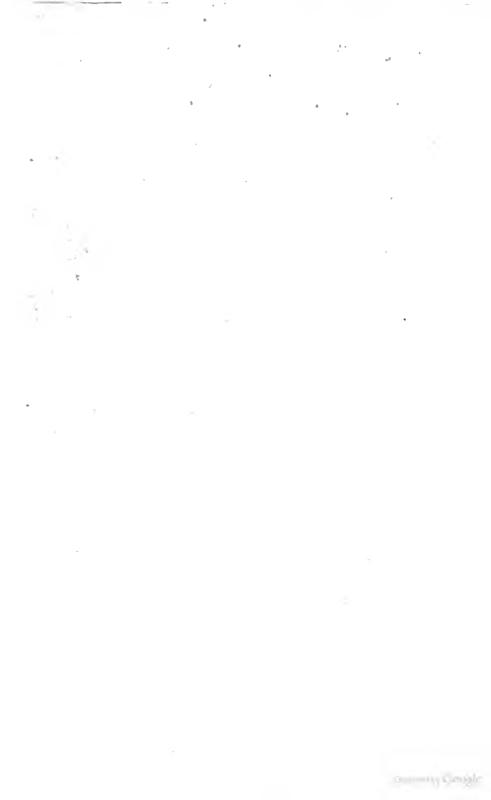
aber gerade in dem entsprechenden Leserkreise wenig verbreitet wurde, weshalb beide hier wieder abgedruckt erscheinen. Die dritte und vierte Vorlesung sind früher noch nicht veröffentlicht worden.

Diese Vorlesungen, wie sie durch zufällige Veranlassungen hervorgerufen waren, sind natürlich nicht nach einem streng durchgreifenden Plane gearbeitet, auch musste jede einzelne vollkommen unabhängig von den anderen gehalten werden; daher waren Wiederholungen nicht ganz zu vermeiden, und mögen die des ersten Heftes auch wohl bunt genug zusammengewürfelt erscheinen. Wenn ich von einem gemeinsamen Grundgedanken derselben reden darf, so war es der, dass ich das Wesen und die Tragweite der Naturgesetze und ihre Beziehungen zu den geistigen Thätigkeiten des Menschen anschaulich zu machen suchte, was mir immer als das Hauptinteresse und Hauptbedürfniss bei Vorlesungen vor einem überwiegend literarisch gebildeten Publikum erschien. Das gemeinsame Band wird, wie ich hoffe, noch deutlicher heraustreten bei der Fortsetzung dieser Sammlung, für welche eine Reihe von Vorlesungen über das Gesetz von der Erhaltung der Kraft bestimmt sind, zu deren schriftlicher Ausarbeitung ich hoffentlich bald Musse finden werde.

Einstweilen mögen diese wenigen, welche ich darbieten kann, von ihren Lesern mit derjenigen Nachsicht aufgenommen werden, deren Vorlesungen immer bedürfen, wenn sie nicht in mündlichem Vortrage gehört, sondern im Druck gelesen werden.

Der Verfasser.

INHALT.



ÜBER
DAS VERHÄLTNISS
DER
NATURWISSENSCHAFTEN
ZUR
GESAMMTHEIT DER WISSENSCHAFT.

Akademische Festrede

gehalten zu

Heidelberg am 22. November 1862

von

Dr. Hermann Helmholtz,

als zeitigem Prorector.

Hochgeehrte Versammlung!

Unsere Universität erneuert in der jährlichen Wiederkehr des heutigen Tages die dankbare Erinnerung an einen erleuchteten Fürsten dieses Landes, Karl Friedrich, der während einer Zeit, wo die ganze alte Ordnung Europa's umzustürzen schien, eifrig und im edelsten Sinne bemüht war, das Wohl und die geistige Entwickelung seines Volkes zu befördern, und der es richtig zu erkennen wusste, dass die Erneuerung und Wiederbelebung dieser Universität eines der Hauptmittel zur Erreichung seiner wohlwollenden Absichten sein würde. Indem ich an einem solchen Tage von diesem Platze aus als Stellvertreter unserer gesammten Universität zu der gesammten Universität zu sprechen habe, ziemt es sich wohl, einen Blick auf den Zusammenhang der Wissenschaften und ihres Studiums im Ganzen zu werfen, so weit dies von dem beschränkten Standpunkte aus möglich ist, den der Einzelne einnimmt.

Wohl kann es in jetziger Zeit so scheinen, als ob die gemeinsamen Beziehungen aller Wissenschaften zu einander, um deren Willen wir sie unter dem Namen einer Universitas litterarum zu vereinigen pflegen, lockerer als je geworden seien. Wir sehen die Gelehrten unserer Zeit vertieft in ein Detailstudium von so unermesslicher Ausdehnung, dass auch der grösste Polyhistor nicht mehr daran denken kann, mehr als ein kleines Theilgebiet der heutigen Wissenschaft in seinem Kopfe zu beherbergen. Den Sprachforscher der drei letztvergangenen Jahrhunderte beschäftigte das Studium des Griechischen und Lateinischen schon genügend; nur für unmittelbar praktische Zwecke lernte man vielleicht noch einige europäische Sprachen. Jetzt hat sich die vergleichende Sprachforschung keine geringere Aufgabe

gestellt, als die, alle Sprachen aller menschlichen Stämme kennen zu lernen, um an ihnen die Gesetze der Sprachbildung selbst zu ermitteln, nnd mit dem riesigsten Fleisse hat sie sich an ihre Arbeit gemacht. Selbst innerhalb der classischen Philologie beschränkt man sich nicht mehr darauf, diejenigen Schriften zu studiren, welche durch ihre künstlerische Vollendung, durch die Schärfe ihrer Gedanken oder die Wichtigkeit ihres Inhalts die Vorbilder der Poesie und Prosa für alle Zeit geworden sind; man weiss, dass jedes verlorene Bruchstück eines alten Schriftstellers, jede Notiz eines pedantischen Grammatikers oder eines Byzantinischen Hofpoeten, jeder zerbrochene Grabstein eines römischen Beamten, der sich in einem unbekannten Winkel Ungarns, Spaniens oder Afrika's vorfindet, eine Nachricht oder ein Beweisstück enthalten kann, welches an seiner Stelle wichtig sein möchte, nnd so ist denn wieder eine andere Zahl von Gelehrten mit der Ausführung des riesigen Unternehmens beschäftigt, alle Reste des classischen Alterthums, welcher Art sie sein mögen, zu sammeln und zu katalogisiren, damit sie zum Gebrauch bereit seien. Nehmen Sie dazu das historische Quellenstudium, die Durchmusterung der in den Archiven der Staaten und der Städte aufgehäuften Pergamente und Papiere, das Zusammenlesen der in Memoiren, Briefsammlungen und Biographien zerstreuten Notizen, und die Entzifferung der in den Hieroglyphen und Keilschriften niedergelegten Documente; nehmen Sie dazu die noch immer an Umfang schnell wachsenden systematischen Uebersichten der Mineralien, der Pflanzen und Thiere, der lebenden wie der vorsündfluthlichen, so entfaltet sich vor unserem Blicke eine Masse gelehrten Wissens, welche uns schwindeln macht. In allen diesen Wissenschaften nimmt der Kreis der Forschung noch fortdauernd in demselben Maasse zu, als die Hülfsmittel der Beobachtung sich verbessern, ohne dass ein Ende abzusehen ist. Der Zoolog der vergangenen Jahrhunderte war meist znfrieden, wenn er die Zähne, die Behaarung, die Bildung der Füsse und andere äusserliche Kennzeichen eines Thieres beschrieben hatte. Der Anatom dagegen beschrieb die Anatomie des Menschen allein, so weit er sie mit dem Messer, der Säge und dem Meissel, oder etwa mit Hülfe von Injectionen der Gefässe ermitteln konnte. Das Studium der menschlichen Anatomie galt schon als ein entsetzlich weitläuftiges und schwer zu erlernendes Gebiet. Heut zu Tage begnügt man sich nicht mehr mit der sogenannten gröberen menschlichen Anatomie, welche fast, wenn auch mit Unrecht, als ein erschöpf-

tes Gebiet angesehen wird, sondern die vergleichende Anatomie, d. h. die Anatomie aller Thiere, und die mikroskopische Anatomie, also Wissenschaften von einem unendlich breiteren Inhalte, sind hinzugekommen und absorbiren das Interesse der Beobachter.

Die vier Elemente des Alterthums und der mittelalterlichen Alchymie sind in unserer jetzigen Chemie auf 64 [1]) gewachsen; die drei letzten von ihnen sind nach einer an unserer Universität entdeckten Methode aufgefunden worden, welche noch viele ähnliche Funde in Aussicht stellt. Aber nicht blos die Zahl der Elemente ist ausserordentlich gewachsen, auch die Methoden, complicirte Verbindungen derselben herzustellen, haben solche Fortschritte gemacht, dass die sogenannte organische Chemie, welche nur die Verbindungen des Kohlenstoffs mit Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und mit einigen wenigen anderen Elementen umfasst, schon wieder eine Wissenschaft für sich geworden ist.

„So viel Stern' am Himmel stehen" war in alter Zeit der natürliche Ausdruck für eine Zahl, welche alle Grenzen unseres Fassungsvermögens übersteigt; Plinius findet es ein an Vermessenheit streifendes Unternehmen des Hipparch (rem etiam Deo improbam), dass er die Sterne zu zählen und ihre Oerter einzeln abzumessen unternommen habe. Und doch liefern die bis zum XVII. Jahrhundert ohne Hülfe von Fernröhren angefertigten Sternverzeichnisse nur 1000 bis 1500 Sterne 1ter bis 5ter Grösse. Gegenwärtig ist man an mehreren Sternwarten beschäftigt, diese Kataloge bis zur 10ten Grösse fortzusetzen, was eine Gesammtzahl von etwa 200000 Fixsternen über den ganzen Himmel ergeben wird, welche alle aufgezeichnet, und deren Oerter messend bestimmt werden sollen. Die nächste Folge dieser Untersuchungen ist dann auch die Möglichkeit gewesen, eine grosse Menge neuer Planeten zu entdecken, von denen vor 1781 nur 6 bekannt waren, im gegenwärtigen Augenblicke dagegen 75 [2]).

Wenn wir diese riesige Thätigkeit in allen Zweigen überblicken, so können uns die verwegenen Anschläge der Menschen wohl in ein erschrecktes Staunen versetzen, wie den Chor in der Antigone, wo er ausruft:

---

[1]) Mit dem seitdem entdeckten Indium jetzt 65. — [2]) Zu Ende November 1864 ist schon der 82ste der kleinen Planeten, Alcmene, entdeckt worden. Dazu die acht grossen giebt die Zahl von 90 bekannten Planeten.

Πολλὰ τὰ δεινά, κοὐδὲν ἀνθρώπου δεινότερον πέλει.
„Vieles ist erstaunlich, aber nichts erstaunlicher als der Mensch."

Wer soll noch das Ganze übersehen, wer die Fäden des Zusammenhangs in der Hand behalten und sich zurecht finden? Die natürliche Folge sehen wir zunächst darin vor Augen, dass jeder einzelne Forscher ein immer kleiner werdendes Gebiet zu seiner eigenen Arbeitsstätte zu wählen gezwungen ist und nur unvollständige Kenntnisse von den Nachbargebieten sich bewahren kann. Wir sind jetzt geneigt zu lachen, wenn wir hören, dass im 17. Jahrhundert Keppler als Professor der Mathematik und Moral nach Grätz berufen wurde, oder dass am Anfange des 18. Jahrhunderts Boerhave zu Leyden gleichzeitig die Professuren der Botanik, Chemie und klinischen Medicin inne hatte, worin natürlich damals auch noch die Pharmacie eingeschlossen war. Jetzt brauchen wir mindestens vier, an vollständig besetzten Universitäten sogar sieben bis acht Lehrer, um alle diese Fächer zu vertreten. Aehnlich ist es in den anderen Disciplinen.

Ich habe um so mehr Veranlassung, die Frage nach dem Zusammenhange der verschiedenen Wissenschaften hier zu erörtern, als ich selbst dem Kreise der Naturwissenschaften angehöre, und man die Naturwissenschaften in neuerer Zeit gerade am meisten beschuldigt hat, einen isolirten Weg eingeschlagen zu haben und den übrigen Wissenschaften, die durch gemeinsame philologische und historische Studien unter einander verbunden sind, fremd geworden zu sein. Ein solcher Gegensatz ist in der That eine Zeit lang fühlbar gewesen und scheint mir namentlich unter dem Einflusse der Hegel'schen Philosophie sich entwickelt zu haben, oder durch diese Philosophie mindestens klarer als vorher an das Licht gezogen worden zu sein. Denn am Ende des vorigen Jahrhunderts unter dem Einflusse der Kant'schen Lehre war eine solche Trennung noch nicht ausgesprochen; diese Philosophie stand vielmehr mit den Naturwissenschaften auf genau gleichem Boden, wie am besten Kant's eigene naturwissenschaftliche Arbeiten zeigen, namentlich seine auf Newton's Gravitationsgesetz gestützte kosmogonische Hypothese, welche später unter Laplace's Namen allgemeine Anerkennung erhalten hat. Kant's kritische Philosophie ging nur darauf aus, die Quellen und die Berechtigung unseres Wissens zu prüfen und den einzelnen übrigen Wissenschaften gegenüber den Maasstab für ihre geistige Arbeit aufzustellen. Ein Satz, der a priori durch reines Denken gefun-

den war, konnte nach seiner Lehre immer nur eine Regel für die Methode des Denkens sein, aber keinen positiven und realen Inhalt haben. Die Identitätsphilosophie war kühner. Sie ging von der Hypothese aus, dass auch die wirkliche Welt, die Natur und das Menschenleben das Resultat des Denkens eines schöpferischen Geistes sei, welcher Geist seinem Wesen nach als dem menschlichen gleichartig betrachtet wurde. Sonach schien der menschliche Geist es unternehmen zu können, auch ohne durch äussere Erfahrungen dabei geleitet zu sein, die Gedanken des Schöpfers nachzudenken und durch eigene innere Thätigkeit dieselben wiederzufinden. In diesem Sinne ging nun die Identitätsphilosophie darauf aus, die wesentlichen Resultate der übrigen Wissenschaften a priori zu construiren. Es mochte dieses Geschäft mehr oder weniger gut gelingen in Bezug auf Religion, Recht, Staat, Sprache, Kunst, Geschichte, kurz in allen den Wissenschaften, deren Gegenstand sich wesentlich aus psychologischer Grundlage entwickelt, und die daher unter dem Namen der Geisteswissenschaften passend zusammengefasst werden. Staat, Kirche, Kunst, Sprache sind dazu da, um gewisse geistige Bedürfnisse der Menschen zu befriedigen. Wenn auch äussere Hindernisse, Naturkräfte, Zufall, Nebenbuhlerschaft anderer Menschen oft störend eingreifen, so werden schliesslich doch die beharrlich das gleiche Ziel verfolgenden Bestrebungen des menschlichen Geistes über die planlos waltenden Hindernisse das Uebergewicht erhalten und den Sieg erringen müssen. Unter diesen Umständen wäre es nicht gerade unmöglich, den allgemeinen Entwickelungsgang der Menschheit in Bezug auf die genannten Verhältnisse aus einem genauen Verständniss des menschlichen Geistes a priori vorzuzeichnen, namentlich wenn der Philosophirende schon ein breites empirisches Material vor sich hat, dem sich seine Abstractionen anschliessen können. Hegel wurde in seinen Versuchen, diese Aufgabe zu lösen, auch wesentlich unterstützt durch die tiefen philosophischen Blicke in Geschichte und Wissenschaft, welche die Philosophen und Dichter der ihm unmittelbar vorausgehenden Zeit gethan hatten, und die er hauptsächlich nur zusammenzuordnen und zu verbinden brauchte, um ein durch viele überraschende Einsichten imponirendes System herzustellen. So gelang es ihm, bei der Mehrzahl der Gebildeten seiner Zeit einen enthusiastischen Beifall zu finden und überschwängliche Hoffnungen auf die Lösung der tiefsten Räthsel des Menschenlebens zu erregen; das letztere um so mehr, als der Zusammenhang des Systems durch eine son-

derbar abstracte Sprache verhüllt war, und vielleicht von Wenigen seiner Verehrer wirklich verstanden und durchschaut worden ist.

Dass nun die Construction der wesentlichen Hauptresultate der Geisteswissenschaften mehr oder weniger gut gelang, war immer noch kein Beweis für die Richtigkeit der Identitätshypothese, von der Hegel's Philosophie ausging. Es wären im Gegentheil die Thatsachen der Natur das entscheidende Prüfungsmittel gewesen. Dass in den Geisteswissenschaften sich die Spuren der Wirksamkeit des menschlichen Geistes und seiner Entwickelungsstufen wiederfinden mussten, war selbstverständlich. Wenn aber die Natur das Resultat der Denkprocesse eines ähnlichen schöpferischen Geistes abspiegelte, so mussten sich die verhältnissmässig einfacheren Formen und Vorgänge der Natur um so leichter dem Systeme einordnen lassen. Aber hier gerade scheiterten die Anstrengungen der Identitätsphilosophie, wir dürfen wohl sagen, vollständig. Hegel's Naturphilosophie erschien, den Naturforschern wenigstens, absolut sinnlos. Von den vielen ausgezeichneten Naturforschern jener Zeit fand sich nicht ein Einziger, der sich mit den Hegel'schen Ideen hätte befreunden können. Da andrerseits für Hegel es von besonderer Wichtigkeit war gerade in diesem Felde sich Anerkennung zu erfechten, die er anderwärts so reichlich gefunden hatte, so folgte eine ungewöhnlich leidenschaftliche und erbitterte Polemik von seiner Seite, die namentlich gegen J. Newton, als den ersten und grössten Repräsentanten der wissenschaftlichen Naturforschung, gerichtet war. Die Naturforscher wurden von den Philosophen der Bornirtheit geziehen, die letzteren von den ersteren der Sinnlosigkeit. Die Naturforscher fingen nun an ein gewisses Gewicht darauf zu legen, dass ihre Arbeiten ganz frei von allen philosophischen Einflüssen gehalten seien, und es kam bald dahin, dass viele von ihnen, und zwar selbst Männer von hervorragender Bedeutung, alle Philosophie nicht nur als unnütz, sondern selbst als schädliche Träumerei verdammten. Wir können nicht leugnen, dass hierbei mit den ungerechtfertigten Ansprüchen, welche die Identitätsphilosophie auf Unterordnung der übrigen Disciplinen erhob, auch die berechtigten Ansprüche der Philosophie, nämlich die Kritik der Erkenntnissquellen auszuüben und den Maasstab der geistigen Arbeit festzustellen, über Bord geworfen wurden.

In den Geisteswissenschaften war der Verlauf ein anderer, wenn er auch schliesslich ziemlich zu demselben Resultate führte.

In allen Zweigen der Wissenschaft, für Religion, Staat, Recht, Kunst, Sprache, standen begeisterte Anhänger der Hegel'schen Philosophie auf, welche jeder sein Gebiet im Sinne dieser Lehre zu reformiren und schnell auf speculativem Wege Früchte einzusammeln suchten, denen man sich bis dahin nur langsam durch langwierige Arbeit genähert hatte. So stellte sich eine Zeit lang ein schneidender und scharfer Gegensatz zwischen den Naturwissenschaften auf der einen und den Geisteswissenschaften auf der andern Seite her, wobei den ersteren nicht selten der Charakter der Wissenschaft ganz abgesprochen wurde.

Freilich dauerte das gespannte Verhältniss in seiner ersten Bitterkeit nicht lange. Die Naturwissenschaften erwiesen vor Jedermanns Augen durch eine schnell auf einander folgende Reihe glänzender Entdeckungen und Anwendungen, dass ein gesunder Kern ungewöhnlicher Fruchtbarkeit in ihnen wohne; man konnte ihnen Achtung und Anerkennung nicht versagen. Und auch in den übrigen Gebieten des Wissens erhoben gewissenhafte Erforscher der Thatsachen bald ihren Widerspruch gegen den allzu kühnen Icarusflug der Speculation. Doch lässt sich auch ein wohlthätiger Einfluss jener philosophischen Systeme nicht verkennen; wir dürfen wohl nicht leugnen, dass seit dem Auftreten Hegel's und Schelling's die Aufmerksamkeit der Forscher in den verschiedenen Zweigen der Geisteswissenschaften lebhafter und dauernder auf ihren geistigen Inhalt und Zweck gerichtet gewesen ist, als in den vorausgehenden Jahrhunderten vielleicht der Fall war, und die grosse Arbeit jener Philosophie ist desshalb nicht ganz vergebens gewesen.

In dem Maasse nun, als die empirische Erforschung der Thatsachen auch in den anderen Wissenschaften wieder in den Vordergrund trat, ist nun allerdings der Gegensatz zwischen ihnen und den Naturwissenschaften gemildert worden. Indessen, wenn derselbe durch Einfluss der genannten philosophischen Meinungen auch in übertriebener Schärfe zum Ausdruck gekommen war, lässt sich doch nicht verkennen, dass ein solcher Gegensatz wirklich in der Natur der Dinge begründet ist und sich geltend macht Es liegt ein solcher zum Theil in der Art der geistigen Arbeit begründet, zum Theil in dem Inhalt der genannten Fächer, wie es der Name der Natur- und Geisteswissenschaften schon andeutet. Der Physiker wird einige Schwierigkeit finden dem Philologen oder Juristen die Einsicht in einen verwickelten Naturprocess zu eröffnen; er muss von ihnen dabei Ab-

stractionen von dem sinnlichen Schein und eine Gewandtheit in dem Gebrauche geometrischer und mechanischer Anschauungen verlangen, in denen ihm die anderen nicht so leicht nachfolgen können. Andrerseits werden die Aesthetiker und Theologen den Naturforscher vielleicht zu mechanischen und materialistischen Erklärungen zu geneigt finden, die ihnen trivial erscheinen, und durch welche sie in der Wärme ihres Gefühls und ihrer Begeisterung gestört werden. Der Philolog und der Historiker, mit denen der Jurist und Theolog ja durch gemeinsame philologische und historische Studien eng verbunden bleiben, werden den Naturforscher auffallend gleichgültig gegen litterarische Schätze finden, ja vielleicht sogar gleichgültiger, als Recht ist, für die Geschichte seiner eigenen Wissenschaft. Endlich ist nicht zu leugnen, dass sich die Geisteswissenschaften ganz direct mit den theuersten Interessen des menschlichen Geistes und mit den durch ihn in die Welt eingeführten Ordnungen befassen, die Naturwissenschaften dagegen mit äusserem, gleichgültigem Stoff, den wir scheinbar nur des practischen Nutzens wegen nicht umgehen können, der aber vielleicht kein unmittelbares Interesse für die Bildung des Geistes zu haben scheinen könnte.

Da nun die Sache so liegt, da sich die Wissenschaften in unendlich viele Aeste und Zweige gespalten haben, da lebhaft gefühlte Gegensätze zwischen ihnen entwickelt sind, da kein Einzelner mehr das Ganze oder auch selbst nur einen erheblichen Theil des Ganzen umfassen kann, hat es noch einen Sinn, sie alle an denselben Anstalten zusammenzuhalten? Ist die Vereinigung der vier Facultäten zu einer Universität nur ein Rest des Mittelalters? Manche äussere Vortheile sind schon dafür geltend gemacht worden, dass man die Mediciner in die Spitäler der grossen Städte schicke, die Naturforscher in die polytechnischen Schulen, und für die Theologen und Juristen besondere Seminare und Schulen errichte. Wir wollen hoffen, dass die deutschen Universitäten noch lange vor einem solchen Schicksale bewahrt bleiben mögen! Dadurch würde in der That der Zusammenhang zwischen den verschiedenen Wissenschaften zerrissen werden, und wie wesentlich nothwendig ein solcher Zusammenhang nicht nur in formeller Beziehung für die Erhaltung der wissenschaftlichen Arbeitskraft, sondern auch in materieller Beziehung für die Förderung der Ergebnisse dieser Arbeit sei, wird eine kurze Betrachtung zeigen.

Zunächst in formaler Beziehung. Ich möchte sagen, die Vereinigung der verschiedenen Wissenschaften ist nöthig, um das ge-

sunde Gleichgewicht der geistigen Kräfte zu erhalten. Jede einzelne Wissenschaft nimmt gewisse Geistesfähigkeiten besonders in Anspruch und kräftigt sie dem entsprechend durch anhaltendere Uebung. Aber jede einseitige Ausbildung hat ihre Gefahr; sie macht unfähig für die weniger geübten Arten der Thätigkeit, beschränkt dadurch den Blick für den Zusammenhang des Ganzen; namentlich aber treibt sie auch leicht zur Selbstüberschätzung. Wer bemerkt, dass er eine gewisse Art geistiger Arbeit viel besser verrichtet als andere Menschen, vergisst leicht, dass er manches nicht leisten kann, was andere viel besser thun als er selbst; und Selbstüberschätzung — das vergesse Niemand, der sich den Wissenschaften widmet — ist der grösste und schlimmste Feind aller wissenschaftlichen Thätigkeit. Wie viele und grosse Talente haben nicht schon die Gelehrten vor allen Dingen nöthige und so schwer zu übende Selbstkritik vergessen, oder sind ganz in ihrer Thätigkeit erlahmt, weil sie trockne emsige Arbeit ihrer selbst unwürdig glaubten und nur geistreiche Ideencombinationen und weltumgestaltende Entdeckungen hervorzubringen bestrebt waren! Wie viele solche haben nicht in verbitterter und menschenfeindlicher Stimmung ein melancholisches Leben zu Ende geführt, weil ihnen die Anerkennung der Menschen fehlte, die natürlich durch Arbeit und Erfolge errungen werden muss, aber nicht dem bloss sich selbst bewundernden Genie gezollt zu werden pflegt. Und je isolirter der Einzelne ist, desto leichter droht ihm eine solche Gefahr, während umgekehrt nichts belebender ist, als gezwungen zu sein, mit Anstrengung aller Kräfte sich die Anerkennung solcher Männer erarbeiten zu müssen, denen man selbst Anerkennung zu widmen gezwungen ist.

Wenn wir die Art der geistigen Thätigkeit in den verschiedenen Zweigen der Wissenschaft vergleichen, so zeigen sich gewisse durchgehende Unterschiede nach den Wissenschaften selbst, wenn auch daneben nicht zu verkennen ist, dass jedes einzelne ausgezeichnete Talent seine besondere individuelle Geistesrichtung hat, wodurch es gerade für seine besondere Art von Thätigkeit vorzugsweise befähigt wird. Man braucht nur die Arbeiten zweier gleichzeitiger Forscher in ganz eng benachbarten Gebieten zu vergleichen, so wird man sich in der Regel überzeugen können, dass in dem Maasse, als die Männer ausgezeichneter sind, desto bestimmter ihre geistige Individualität ausgesprochen ist, und desto weniger der eine im Stande sein würde, die Arbeiten des andern

auszuführen. Bei der heutigen Gelegenheit kann es sich natürlich nur darum handeln, die allgemeinsten Unterschiede, welche die geistige Arbeit in den verschiedenen Zweigen der Wissenschaft darbietet, zu characterisiren.

Ich habe an den riesenhaften Umfang des Materials unserer Wissenschaften erinnert. Zunächst ist klar, dass je riesenhafter dieser Umfang ist, eine desto bessere und genauere Organisation und Anordnung dazu gehört, um nicht im Labyrinth der Gelehrsamkeit sich hoffnungslos zu verlaufen. Je besser die Ordnung und Systematisirung ist, desto grösser kann auch die Anhäufung der Einzelheiten werden, ohne dass der Zusammenhang leidet. Unsere Zeit kann eben so viel mehr im Einzelnen leisten, weil unsere Vorgänger uns gelehrt haben, wie die Organisation des Wissens einzurichten ist.

Diese Organisation besteht nun in erster Stufe nur in einer äusserlichen mechanischen Ordnung, wie sie uns unsere Kataloge, Lexica, Register, Indices, Litteraturübersichten, Jahresberichte, Gesetzsammlungen, naturhistorischen Systeme u. s. w. geben. Mit Hülfe dieser Dinge wird zunächst nur erreicht, dass dasjenige Wissen, welches nicht unmittelbar im Gedächtnisse aufzubewahren ist, jeden Augenblick von demjenigen, der es braucht, gefunden werden kann. Mittels eines guten Lexicon kann jetzt ein Gymnasiast im Verständniss der Classiker manches leisten, was einem Erasmus trotz der Belesenheit eines langen Lebens schwer geworden sein muss. Die Werke dieser Art bilden gleichsam den Grundstock des wissenschaftlichen Vermögens der Menschheit, mit dessen Zinsen gewirthschaftet wird; man könnte sie vergleichen mit einem Capital, was in Ländereien angelegt ist. Wie die Erde, aus der das Land besteht, sieht das Wissen, was in den Katalogen, Lexicis und Verzeichnissen steckt, wenig einladend und unschön aus, der Unkundige weiss die Arbeit und Kosten, welche in diesen Acker gesteckt sind, nicht zu erkennen und nicht zu schätzen; die Arbeit des Pflügers erscheint unendlich schwerfällig, mühsam und langweilig. Wenn aber auch die Arbeit des Lexicographen oder des naturhistorischen Systematikers einen eben so mühsamen und hartnäckigen Fleiss in Anspruch nimmt, wie die des Pflügers, so muss man doch nicht glauben, dass sie untergeordneter Art oder so trocken und mechanisch sei, wie sie nachher aussieht, wenn man das Verzeichniss fertig gedruckt vor sich liegen hat. Es muss eben auch dabei jede einzelne Thatsache durch aufmerksame Beobachtung aufgefunden, nachher ge-

prüft und verglichen werden, es muss das Wichtige von dem Unwichtigen gesondert werden, und dies alles kann offenbar nur Jemand thun, der den Zweck, zu welchem gesammelt wird, den geistigen Jnhalt der betreffenden Wissenschaft und ihre Methoden lebendig aufgefasst hat, und für einen solchen wird auch jeder einzelne Fall wieder in Zusammenhang mit dem Ganzen treten und sein eigenthümliches Interesse haben. Sonst würde ja auch eine solche Arbeit die schlimmste Sclavenarbeit sein, die sich ausdenken liesse. Dass auch auf diese Werke die fortschreitende Ideenentwickelung der Wissenschaft Einfluss hat, zeigt sich eben darin, dass man fortdauernd neue Lexica, neue naturhistorische Systeme, neue Gesetzsammlungen, neue Sternkataloge auszuarbeiten für nöthig findet; darin spricht sich die fortschreitende Kunst der Methode und der Organisation des Wissens aus.

Unser Wissen soll nun aber nicht in der Form der Kataloge liegen bleiben; denn eben, dass wir es in dieser Form, schwarz auf weiss gedruckt, äusserlich mit uns herumtragen müssen, zeigt an, dass wir es geistig nicht bezwungen haben. Es ist nicht genug, die Thatsachen zu kennen; Wissenschaft entsteht erst, wenn sich ihr Gesetz und ihre Ursachen enthüllen. Die logische Verarbeitung des gegebenen Stoffs besteht zunächst darin, dass wir das Aehnliche zusammenschliessen und einen allgemeinen Begriff ausbilden, der es umfasst. Ein solcher Begriff, wie sein Namen andeutet, begreift in sich eine Menge von Einzelheiten und vertritt sie in unserem Denken. Wir nennen ihn Gattungsbegriff, wenn er eine Menge existirender Dinge, wir nennen ihn Gesetz, wenn er eine Reihe von Vorgängen oder Ereignissen umfasst. Wenn ich ermittelt habe, dass alle Säugethiere, d. h. alle warmblütigen Thiere, welche lebendige Junge gebären, auch zugleich durch Lungen athmen, zwei Herzkammern und mindestens drei Gehörknöchelchen haben, so brauche ich die genannten anatomischen Eigenthümlichkeiten nicht mehr vom Affen, Pferde, Hunde und Wallfisch einzeln zu behalten. Die allgemeine Regel umfasst hier eine ungeheure Menge von einzelnen Fällen und vertritt sie im Gedächtniss. Wenn ich das Brechungsgesetz der Lichtstrahlen ausspreche, so umfasst dieses Gesetz nicht nur die Fälle, wo Strahlen unter den verschiedensten Winkeln auf eine einzelne ebene Wasserfläche fallen, und giebt mir Auskunft über den Erfolg, sondern es umfasst alle Fälle, wo Lichtstrahlen irgend einer Farbe auf die irgendwie gestaltete Oberfläche einer irgendwie gearteten durchsichtigen Substanz fallen. Es umfasst also dieses

Gesetz eine wirklich unendliche Masse von Fällen, welche im Gedächtnisse einzeln zu bewahren gar nicht möglich gewesen sein würde. Dabei ist aber weiter zu bemerken, dass dieses Gesetz nicht nur diejenigen Fälle umfasst, die wir selbst oder andere Menschen schon beobachtet haben, sondern wir werden auch nicht anstehen, es auf neue, noch nicht beobachtete Fälle anzuwenden, um den Erfolg der Lichtbrechung darnach vorauszusagen, und werden uns in unserer Erwartung nicht getäuscht finden. Ebenso werden wir, falls wir ein unbekanntes, noch nicht anatomisch zerlegtes Säugethier finden sollten, mit einer an Gewissheit grenzenden Wahrscheinlichkeit voraussetzen dürfen, dass dasselbe Lungen, zwei Herzkammern und drei oder mehr Gehörknöchelchen habe.

Indem wir also die Thatsachen der Erfahrung denkend zusammenfassen und Begriffe bilden, seien es nun Gattungsbegriffe oder Gesetze, so bringen wir unser Wissen nicht nur in eine Form, in der es leicht zu handhaben und aufzubewahren ist, sondern wir erweitern es auch, da wir die gefundenen Regeln und Gesetze auch auf alle ähnlichen künftig noch aufzufindenden Fälle auszudehnen uns berechtigt fühlen.

Die genannten Beispiele sind solche, in denen die Zusammenfassung der Einzelfälle durch Denken zu Begriffen keine Schwierigkeit mehr findet, und das Wesen des ganzen Vorgangs klar vor Augen liegt. Aber in complicirten Fällen gelingt es uns nicht so gut, das Aehnliche ganz zu scheiden vom Unähnlichen und es zu einem scharf und klar begrenzten Begriffe zusammenzufassen. Nehmen Sie an, dass wir einen Menschen als ehrgeizig kennen; wir werden vielleicht mit ziemlicher Sicherheit vorhersagen, dass wenn dieser Mann unter gewissen Bedingungen zu handeln haben wird, er seinem Ehrgeize folgen und sich für eine gewisse Art des Handelns entscheiden wird. Aber weder können wir mit voller Bestimmtheit definiren, woran ein Ehrgeiziger zu erkennen ist, oder nach welchem Maass der Grad seines Ehrgeizes zu messen ist; noch können wir mit Bestimmtheit sagen, welcher Grad des Ehrgeizes vorhanden sein muss, damit er in dem betreffenden Falle den Handlungen des Mannes gerade die betreffende Richtung gebe. Wir machen also unsere Vergleichungen zwischen den bisher beobachteten Handlungen des einen Mannes und zwischen den Handlungen anderer Männer, welche in ähnlichen Fällen ähnlich gehandelt haben, und ziehen unseren Schluss auf den Erfolg der künftigen Handlungen, ohne weder den Major noch den Minor

dieses Schlusses in einer bestimmten und deutlich begrenzten Form aussprechen zu können, ja ohne uns vielleicht selbst klar gemacht zu haben, dass unsere Vorhersagung auf der beschriebenen Vergleichung beruht. Unser Urtheil geht in einem solchen Falle nur aus einem gewissen psychologischen Tacte, nicht aus bewusstem Schliessen hervor, obgleich im Wesentlichen der geistige Process derselbe geblieben ist, wie in dem Falle, wo wir einem neugefundenen Säugethiere Lungen zuschreiben.

Diese letztere Art der Induction nun, welche nicht bis zur vollendeten Form des logischen Schliessens, nicht zur Aufstellung ausnahmslos geltender Gesetze durchgeführt werden kann, spielt im menschlichen Leben eine ungeheuer ausgebreitete Rolle. Auf ihr beruht die ganze Ausbildung unserer Sinneswahrnehmungen, wie sich namentlich durch die Untersuchung der sogenannten Sinnestäuschungen nachweisen lässt. Wenn z. B. in unserem Auge die Nervenausbreitung durch einen Stoss gereizt wird, so bilden wir die Vorstellung von Licht im Gesichtsfelde, weil wir unser ganzes Leben lang Reizung in unsern Sehnervenfasern nur gefühlt haben, so oft Licht im Gesichtsfelde war, und gewöhnt sind, die Empfindung der Sehnervenfasern mit Licht im Gesichtsfelde zu identificiren, was wir auch in einem Falle thun, wo es nicht passt. Dieselbe Art der Induction spielt denn auch eine Hauptrolle den psychologischen Vorgängen gegenüber wegen der ausserordentlichen Verwickelung der Einflüsse, welche die Bildung des Charakters und der momentanen Gemüthsstimmung der Menschen bedingen. Ja, da wir uns selbst freien Willen zuschreiben, d. h. die Fähigkeit, aus eigener Machtvollkommenheit zu handeln, ohne dabei von einem strengen und unausweichlichen Causalitätsgesetze gezwungen zu sein, so läugnen wir dadurch überhaupt ganz und gar die Möglichkeit, wenigstens einen Theil der Aeusserungen unserer Seelenthätigkeit auf ein streng bindendes Gesetz zurückzuführen.

Man könnte nun diese Art der Induction im Gegensatz zu der l o g i s c h e n, welche es zu scharf definirten allgemeinen Sätzen bringt, die k ü n s t l e r i s c h e I n d u c t i o n nennen, weil sie im höchsten Grade bei den ausgezeichneteren Kunstwerken hervortritt. Es ist ein wesentlicher Theil des künstlerischen Talents, die charakteristischen äusseren Kennzeichen eines Charakters und einer Stimmung durch Worte, Form und Farbe, oder Töne wiedergeben zu können, und durch eine Art instinctiver Anschauung zu erfassen, wie sich die Seelenzustände fortentwickeln müssen, ohne da-

bei durch irgend eine fassbare Regel geleitet zu sein. Im Gegentheil, wo wir merken, dass der Künstler mit Bewusstsein nach allgemeinen Regeln und Abstractionen gearbeitet hat, finden wir sein Werk arm und trivial, da ist es mit unserer Bewunderung zu Ende. Die Werke der grossen Künstler dagegen bringen mit einer Lebhaftigkeit, einem Reichthum an individuellen Zügen und einer überzeugenden Kraft der Wahrheit die Bilder der Charaktere und Stimmungen uns entgegen, welche der Wirklichkeit fast überlegen scheint, weil die störenden Momente daraus fortbleiben.

Ueberblicken wir nun die Reihe der Wissenschaften mit Beziehung auf die Art, wie sie ihre Resultate zu ziehen haben, so tritt uns ein durchgehender Unterschied zwischen den Naturwissenschaften und den Geisteswissenschaften entgegen. Die Naturwissenschaften sind meist im Stande, ihre Inductionen bis zu scharf ausgesprochenen allgemeinen Regeln und Gesetzen durchzuführen, die Geisteswissenschaften dagegen haben es überwiegend mit Urtheilen nach psychologischem Tactgefühl zu thun. So müssen die historischen Wissenschaften zunächst die Glaubwürdigkeit der Berichterstatter prüfen, die ihnen die Thatsachen überliefern; sind die Thatsachen festgestellt, so beginnt ihr schwereres und wichtigeres Geschäft, die oft sehr verwickelten und mannigfaltigen Motive der handelnden Völker und Individuen aufzusuchen; beides ist wesentlich zu entscheiden nur durch psychologische Anschauung. Die philologischen Wissenschaften, insofern sie sich mit Erklärung und Verbesserung der uns überlieferten Texte, mit Litteratur- und Kunstgeschichte beschäftigen, müssen den Sinn, den der Schriftsteller auszudrücken, die Nebenbeziehungen, welche er durch seine Worte anzudeuten beabsichtigte, herauszufühlen suchen; sie müssen zu dem Ende von einer richtigen Anschauung sowohl der Individualität des Schriftstellers als des Genius der Sprache, in der er schrieb, auszugehen wissen. Alles dies sind Fälle künstlerischer, nicht eigentlich logischer Induction. Das Urtheil lässt sich hier nur gewinnen, wenn eine sehr grosse Menge von einzelnen Thatsachen ähnlicher Art im Gedächtniss bereit ist, um schnell mit der gerade vorliegenden Frage in Beziehung gesetzt zu werden. Eines der ersten Erfordernisse für diese Art von Studien ist desshalb ein treues und bereites Gedächtniss. In der That haben viele der berühmten Historiker und Philologen durch die Kraft ihres Gedächtnisses das Staunen ihrer Zeitgenossen erregt. Natürlich wäre das Gedächtniss allein nicht ausrei-

chend ohne die Fähigkeit, schnell das wesentlich Aehnliche überall herauszufinden, ohne eine fein und reich ausgebildete Anschauung der Seelenbewegungen des Menschen, welche letztere wieder nicht ohne eine gewisse Wärme des Gefühls und Interesse an der Beobachtung der Seelenzustände Anderer zu erreichen sein möchte. Während uns der lebendige Verkehr mit Menschen im täglichen Leben die Grundlage dieser psychologischen Anschauungen geben muss, dient auch das Studium der Geschichte und der Kunst dazu, sie zu ergänzen und zu bereichern, indem beide uns Menschen in ungewöhnlicheren Umständen handelnd zeigen, und wir an ihnen die ganze Breite der Kräfte ermessen lernen, die in unserer Brust verborgen liegen.

Die genannten Theile der Wissenschaft bringen es der Regel nach nicht bis zur Formulirung streng gültiger allgemeiner Gesetze, mit Ausnahme der Grammatik. Die Gesetze der Grammatik sind durch menschlichen Willen festgestellt, wenn sie auch nicht gerade in bewusster Absicht und nach einem überdachten Plane gegeben wurden, vielmehr sich allmälig nach dem Bedürfniss entwickelt haben. Sie treten daher demjenigen, welcher die Sprache erlernt, gegenüber als Gebote, als Gesetze, die durch eine fremde Autorität festgestellt sind.

An die historischen und philologischen Wissenschaften schliessen sich Theologie und Jurisprudenz an, deren Vorbereitungsstudien und Hilfswissenschaften ja wesentlich dem Kreise jener Studien angehören. Die allgemeinen Gesetze, welche wir in beiden finden, sind ebenfalls Gebote, Gesetze, welche durch fremde Autorität für den Glauben und das Handeln in moralischer und juristischer Beziehung gegeben sind, nicht Gesetze, welche, wie die Naturgesetze, die Verallgemeinerung einer Fülle von Thatsachen enthielten. Aber wie bei der Anwendung eines Naturgesetzes auf einen gegebenen Fall, geschieht auch die Subsumtion unter die grammatikalischen, juristischen, moralischen und dogmatischen Gebote in der Form des bewussten logischen Schliessens. Das Gebot bildet den Major eines solchen Schlusses, der Minor muss festsetzen, ob der zu beurtheilende Fall die Bedingungen an sich trägt, für welche das Gebot gegeben ist. Die Lösung dieser letzteren Aufgabe wird nun allerdings sowohl bei der grammatikalischen Analyse, welche den Sinn des auszusprechenden Satzes deutlich machen soll, wie bei der juristischen Beurtheilung der Glaubwürdigkeit des Thatbestandes oder der Absichten der handelnden Personen oder des Sinns der von ihnen erlassenen Schrift-

stücke meist nur wieder eine Sache der psychologischen Anschauung sein. Dagegen lässt sich nicht verkennen, dass sowohl die Syntax der ausgebildeten Sprachen, als auch das durch mehr als 2000jährige Praxis allmälig verfeinerte System unserer Rechtswissenschaft einen hohen Grad logischer Vollständigkeit und Consequenz erlangt haben, so dass im Ganzen die Fälle, welche sich nicht klar unter eines der gegebenen Gesetze schicken wollen, zu den Ausnahmen gehören. Freilich werden solche immer bestehen bleiben, da die von Menschen hingestellten Gesetzgebungen niemals die Folgerichtigkeit und Vollständigkeit der Naturgesetze haben möchten. In solchen Fällen bleibt dann freilich nichts übrig, als dass man die Absicht des Gesetzgebers aus der Analogie und Consequenz der für ähnliche Fälle gegebenen Bestimmungen zu errathen, beziehentlich zu ergänzen sucht.

Das grammatische und juristische Studium haben einen gewissen Vortheil als Bildungsmittel des Geistes dadurch, dass die verschiedenen Arten geistiger Thätigkeit ziemlich gleichmässig durch sie in Anspruch genommen werden. Desshalb ist auch die höhere Schulbildung der neueren europäischen Völker überwiegend auf das Studium fremder Sprachen mittels der Grammatik gestützt. Die Muttersprache und fremde Sprachen, welche man allein durch Uebung lernt, nehmen nicht das bewusste logische Denken in Anspruch; wohl aber kann man an ihnen das Gefühl für künstlerische Schönheit des Ausdrucks üben. Die beiden classischen Sprachen, Griechisch und Lateinisch, haben neben ihrer ausserordentlich feinen künstlerischen und logischen Ausbildung den Vorzug, den die meisten alten und ursprünglichen Sprachen zu theilen scheinen, dass sie durch sehr volle und deutlich unterschiedene Flexionsformen das grammatikalische Verhältniss der Worte und der Sätze zu einander genau bezeichnen. Durch langen Gebrauch werden die Sprachen abgeschliffen, die grammatikalischen Bezeichnungen im Interesse praktischer Kürze und Schnelligkeit auf das nothwendigste zurückgeführt und dadurch unbestimmter gemacht. Das lässt sich auch an den modernen europäischen Sprachen in Vergleich mit dem Lateinischen deutlich erkennen; am weitesten ist in dieser Richtung des Abschleifens das Englische vorgeschritten. Darin scheint es mir auch wesentlich zu beruhen, dass die modernen Sprachen als Unterrichtsmittel viel weniger geeignet sind, als die älteren.

Wie die Jugend an der Grammatik gebildet wird, so benutzt man mit Recht das juristische Studium aus ähnlichen Gründen

als Bildungsmittel für ein reiferes Lebensalter, auch wo es nicht unmittelbar durch die praktischen Zwecke des Berufes gefordert wird.

Das entgegengesetzte Extrem von den philologisch-historischen Wissenschaften bieten nun in Bezug auf die Art geistiger Arbeit die Naturwissenschaften dar. Nicht als ob nicht auch in manchen Gebieten dieser Wissenschaften ein instinctives Gefühl für Analogien und ein gewisser künstlerischer Tact eine Rolle zu spielen hätten. In den naturhistorischen Fächern ist im Gegentheile die Beurtheilung, welche Kennzeichen der Arten als wichtig für die Systematik, welche als unwichtig zu betrachten seien, welche Abtheilungen der Thier- und Pflanzenwelt natürlicher seien als andere, wesentlich nur einem solchen Tacte überlassen, der ohne genau definirbare Regel verfährt. Bezeichnend ist es auch, dass zu den vergleichend anatomischen Untersuchungen über die Analogie entsprechender Organe verschiedener Thiere und zu der analogen Lehre von der Metamorphose der Blätter im Pflanzenreich ein Künstler, nämlich Göthe, den Anstoss gegeben hat, und dass durch ihn die wesentliche Richtung vorgezeichnet wurde, welche die vergleichende Anatomie seit jener Zeit genommen hat. Aber selbst in diesen Fächern, wo wir es noch mit den unverstandensten Wirkungen der Lebensvorgänge zu thun haben, ist es im Allgemeinen viel leichter, allgemeine umfassende Begriffe und Sätze aufzufinden und scharf auszusprechen, als wo wir unser Urtheil auf die Analyse von Seelenthätigkeiten gründen müssen. In vollem Maasse ausgeprägt zeigt sich der besondere wissenschaftliche Charakter der Naturwissenschaften erst in den experimentirenden und mathematisch ausgebildeten Fächern, am meisten in der reinen Mathematik.

Der wesentliche Unterschied dieser Wissenschaften beruht, wie mir scheint, darauf, dass es in ihnen verhältnissmässig leicht ist, die Einzelfälle der Beobachtung und Erfahrung zu allgemeinen Gesetzen von unbedingter Gültigkeit und ausserordentlich umfassendem Umfange zu vereinigen, während gerade dieses Geschäft in den zuerst besprochenen Wissenschaften unüberwindliche Schwierigkeiten darzubieten pflegt. Ja in der Mathematik sind sogar die allgemeinen Sätze, welche sie als Axiome an die Spitze stellt, von so geringer Zahl, so unendlichem Umfange und solcher unmittelbaren Evidenz, dass man gar keinen Beweis für sie zu geben braucht. Man bedenke, dass die ganze reine Mathematik (Arithmetik) entwickelt ist aus den drei Axiomen:

„Wenn zwei Grössen einer dritten gleich sind, sind sie unter sich gleich."

„Gleiches zu Gleichem addirt giebt Gleiches."

„Ungleiches zu Gleichem addirt giebt Ungleiches."

Nicht zahlreicher sind die Axiome der Geometrie und der theoretischen Mechanik. Die genannten Wissenschaften entwickeln sich aus diesen wenigen Vordersätzen, indem man die Folgerungen aus den letzteren in immer verwickelteren Fällen zieht. Die Arithmetik beschränkt sich nicht darauf, die mannigfaltigsten Aggregate einer endlichen Zahl von Grössen zu addiren, sie lehrt in der höheren Analysis sogar unendlich viele Summanden zu addiren, deren Grösse nach den verschiedensten Gesetzen wächst oder abnimmt, also Aufgaben zu lösen, die auf directem Wege niemals würden zu Ende geführt werden können. Hier sehen wir die bewusste logische Thätigkeit unseres Geistes in ihrer reinsten und vollendetsten Form; wir können hier die ganze Mühe derselben kennen lernen, die grosse Vorsicht, mit der sie vorschreiten muss, die Genauigkeit, welche nöthig ist, um den Umfang der gewonnenen allgemeinen Sätze genau zu bestimmen, die Schwierigkeit, abstracte Begriffe zu bilden und zu verstehen, aber ebenso auch Vertrauen fassen lernen in die Sicherheit, Tragweite und Fruchtbarkeit solcher Gedankenarbeit.

Letztere tritt nun noch auffälliger in den angewandten mathematischen Wissenschaften hervor, namentlich in der mathematischen Physik, zu welcher auch die physische Astronomie zu rechnen ist. Nachdem Newton einmal aus der mechanischen Analyse der Planetenbewegungen erkannt hat, dass alle wägbare Materie in der Entfernung sich anzieht mit einer Kraft, die dem Quadrate des Abstands umgekehrt proportional ist, so genügt dieses eine einfache Gesetz, um die Bewegungen der Planeten vollständig und mit grösster Genauigkeit zu berechnen in die fernsten Fernen der Vergangenheit und Zukunft hinaus, wenn nur Ort, Geschwindigkeit und Masse aller einzelnen Körper unseres Systems für irgend einen beliebigen Zeitpunkt gegeben sind; ja wir erkennen das Wirken derselben Kraft auch in den Bewegungen von Doppelsternen wieder, deren Entfernungen so gross sind, dass das Licht Jahre gebraucht, um von ihnen hierher zu gelangen, zum Theil selbst so gross, dass die Versuche sie zu messen bisher gescheitert sind.

Diese Entdeckung des Gravitationsgesetzes und seiner Consequenzen ist die imponirendste Leistung, deren die logische Kraft

des menschlichen Geistes jemals fähig gewesen ist. Ich will nicht sagen, dass nicht Männer mit ebenso grosser oder grösserer Kraft der Abstraction gelebt hätten, als Newton und die übrigen Astronomen, welche seine Entdeckung theils vorbereitet, theils ausgebeutet haben; aber es hat sich niemals ein so geeigneter Stoff dargeboten, als die verwirrten und verwickelten Planetenbewegungen, die vorher bei den ungebildeten Beschauern nur astrologischen Aberglauben genährt hatten, und nun unter ein Gesetz gebracht wurden, welches im Stande war, von den kleinsten Einzelheiten ihrer Bewegungen die genaueste Rechenschaft abzulegen.

An diesem grössesten Beispiele und nach seinem Muster haben sich nun auch eine Reihe von anderen Zweigen der Physik entwickelt, unter denen namentlich die Optik und die Lehre von der Elektricität und dem Magnetismus zu nennen sind. Die experimentirenden Wissenschaften haben bei der Aufsuchung der allgemeinen Naturgesetze den grossen Vortheil vor den beobachtenden voraus, dass sie willkürlich die Bedingungen verändern können, unter denen der Erfolg eintritt, und sich deshalb auf eine nur kleine Zahl charakteristischer Fälle der Beobachtung beschränken dürfen, um das Gesetz zu finden. Die Gültigkeit des Gesetzes muss dann freilich auch an verwickelteren Fällen geprüft werden. So sind die physikalischen Wissenschaften, nachdem einmal die richtigen Methoden gefunden waren, verhältnissmässig schnell fortgeschritten. Sie haben uns nicht nur fähig gemacht, Blicke in die Urzeit zu werfen, in der die Weltennebel zu Gestirnen sich zusammenballten und durch die Gewalt ihres Zusammendrängens glühend wurden, nicht nur erlaubt, die chemischen Bestandtheile der Sonnenatmosphäre zu erforschen — die Chemie der fernsten Fixsterne wird wahrscheinlich nicht lange auf sich warten lassen [1]) — sondern sie haben uns auch gelehrt, die Kräfte der uns umgebenden Natur zu unserem Nutzen auszubeuten und unserem Willen dienstbar zu machen.

Aus dem Gesagten wird nun schon erhellen, wie verschiedenartig die geistige Thätigkeit ihrem grössten Theile nach in diesen letzteren Wissenschaften sei von der der früheren. Der Mathe-

[1]) Die interessantesten Entdeckungen sind in dieser Beziehung schon gemacht worden, namentlich durch die im April 1864 veröffentlichte Arbeit von W. Huggins und W. A. Miller, in der die Analyse der Atmosphären des Aldebaran und α Orionis gegeben und der Nachweis geführt ist, dass gewisse Nebelflecke glühende Gaskugeln sind.

matiker braucht gar kein Gedächtniss für einzelne Thatsachen, der Physiker sehr wenig davon zu haben. Die auf Erinnerung ähnlicher Fälle gebauten Vermuthungen können wohl nützlich sein, um zuerst auf eine richtige Spur zu bringen; Werth bekommen sie erst, wenn sie zu einem streng formulirten und genau begrenzten Gesetze geführt haben. Der Natur gegenüber besteht kein Zweifel, dass wir es mit einem ganz strengen Causalnexus zu thun haben, der keine Ausnahmen zulässt. Deshalb ergeht an uns auch die Forderung fortzuarbeiten, bis wir ausnahmslose Gesetze gefunden haben; eher dürfen wir uns nicht beruhigen, erst in dieser Form erhalten unsere Kenntnisse die siegende Kraft über Raum und Zeit und Naturgewalt.

Die eiserne Arbeit des selbstbewussten Schliessens erfordert grosse Hartnäckigkeit und Vorsicht, sie geht in der Regel nur sehr langsam vor sich und wird selten durch schnelle Geistesblitze gefördert. Es ist bei ihr wenig zu finden von der schnellen Bereitwilligkeit, mit der die verschiedensten Erfahrungen dem Gedächtnisse des Historikers oder Philologen zuströmen müssen. Im Gegentheil ist die wesentliche Bedingung für den methodischen Fortschritt des Denkens, dass der Gedanke auf einen Punkt concentrirt bleibe, ungestört von Nebendingen, ungestört auch von Wünschen und von Hoffnungen, und nur nach seinem eigenen Willen und Entschlusse fortschreite. Ein berühmter Logiker, Stuart Mill, erklärt es als seine Ueberzeugung, dass die inductiven Wissenschaften in der neuesten Zeit mehr für die Fortschritte der logischen Methoden gethan hätten, als die Philosophen von Fach. Ein wesentlicher Grund hierfür liegt gewiss in dem Umstande, dass in keinem Gebiete des Wissens ein Fehler in der Gedankenverbindung sich so leicht durch die Falschheit der Resultate zu erkennen giebt, als in diesen Wissenschaften, wo wir die Resultate der Gedankenarbeit meist direct mit der Wirklichkeit vergleichen können.

Indem ich hier die Behauptung aufgestellt habe, dass namentlich in den mathematisch ausgebildeten Theilen der Naturwissenschaften die Lösung der wissenschaftlichen Aufgaben ihrem Ziele näher gekommen ist, als im Allgemeinen in den übrigen Wissenschaften, so, hoffe ich, glauben Sie nicht, dass ich diese jenen gegenüber herabsetzen will. Wenn die Naturwissenschaften die grössere Vollendung in der wissenschaftlichen Form voraushaben, so haben die Geisteswissenschaften vor ihnen voraus, dass sie einen reicheren, dem Interesse des Menschen und seinem Ge-

fühle näher liegenden Stoff zu behandeln haben, nämlich den menschlichen Geist selbst in seinen verschiedenen Trieben und Thätigkeiten. Sie haben die höhere und schwerere Aufgabe, aber es ist klar, dass ihnen das Beispiel derjenigen Zweige des Wissens nicht verloren gehen darf, welche des leichter zu bezwingenden Stoffes wegen in formaler Beziehung weiter vorwärts geschritten sind. Sie können von ihnen in der Methode lernen und von dem Reichthum ihrer Ergebnisse sich Ermuthigung holen. Auch glaube ich in der That, dass unsere Zeit schon mancherlei von den Naturwissenschaften gelernt hat. Die unbedingte Achtung vor den Thatsachen und Treue in ihrer Sammlung, ein gewisses Misstrauen gegen den sinnlichen Schein, das Streben, überall nach einem Causalnexus zu suchen und einen solchen vorauszusetzen, wodurch sich unsere Zeit von früheren unterscheidet, scheinen einen solchen Einfluss anzudeuten.

In wie fern den mathematischen Studien, als den Repräsentanten der selbstbewussten logischen Geistesthätigkeit, ein grösserer Einfluss in der Schulbildung eingeräumt werden müsse, will ich hier nicht erörtern. Es ist dies wesentlich eine Frage der Zeit. In dem Maasse, als der Umfang der Wissenschaft sich erweitert, muss auch ihre Systematisirung und Organisation verbessert werden, und es wird nicht fehlen können, dass sich auch die Individuen genöthigt sehen werden, strengere Schulen des Denkens durchzumachen, als die Grammatik zu gewähren im Stande ist. Was mir in eigener Erfahrung bei den Schülern, die aus unseren grammatischen Schulen zu naturwissenschaftlichen und medicinischen Studien übergehen, aufzufallen pflegt, ist erstens eine gewisse Laxheit in der Anwendung streng allgemeingültiger Gesetze. Die grammatischen Regeln, an denen sie sich geübt haben, sind in der That meist mit langen Verzeichnissen von Ausnahmen versehen; sie sind desshalb nicht gewöhnt, auf die Sicherheit einer legitimen Consequenz eines streng allgemeinen Gesetzes unbedingt zu trauen. Zweitens finde ich sie meist zu sehr geneigt, sich auf Autoritäten zu stützen, auch wo sie sich ein eigenes Urtheil bilden könnten. In den philologischen Studien wird in der That der Schüler, weil er selten das ganze Material übersehen kann, und weil die Entscheidung oft von dem ästhetischen Gefühl für die Schönheit des Ausdrucks und den Genius der Sprache abhängt, welches längere Ausbildung erfordert, auch von den besten Lehrern auf Autoritäten verwiesen werden müssen. Beide Fehler beruhen auf einer gewissen Trägheit und Unsicherheit des Den-

kens, die nicht blos späteren naturwissenschaftlichen Studien schädlich sein wird. Gegen beides sind aber gewiss mathematische Studien das beste Heilmittel; da giebt es absolute Sicherheit des Schliessens, und da herrscht keine Autorität als die des eigenen Verstandes.

So viel über die verschiedenen sich gegenseitig ergänzenden Richtungen der geistigen Arbeit in den verschiedenen Zweigen der Wissenschaft.

Das Wissen allein ist aber nicht Zweck des Menschen auf der Erde. Obgleich die Wissenschaften die feinsten Kräfte des menschlichen Geistes erwecken und ausbilden, so wird doch derjenige keine rechte Ausfüllung seines Daseins auf Erden finden, welcher nur studiren wollte, um zu wissen. Wir sehen oft genug reich begabte Männer, denen ihr Glück oder Unglück eine behagliche äussere Existenz zugeworfen hat, ohne ihnen zugleich den Ehrgeiz oder die Energie zum Wirken mitzutheilen, ein gelangweiltes und unbefriedigtes Leben dahinschleppen, während sie dem edelsten Lebenszwecke zu folgen glauben in fortdauernder Sorge für Vermehrung ihres Wissens und weitere Bildung ihres Geistes. Nur das Handeln giebt dem Manne ein würdiges Dasein; also entweder die praktische Anwendung des Gewussten, oder die Vermehrung der Wissenschaft selbst muss sein Zweck sein. Denn auch das letztere ist ein Handeln für den Fortschritt der Menschheit. Damit gehen wir denn über zu dem zweiten Bande, welches die Arbeit der verschiedenen Wissenschaften miteinander verknüpft, nämlich der Verbindung des Inhalts derselben.

Wissen ist Macht. Keine Zeit kann diesen Grundsatz augenfälliger darlegen als die unsere. Die Naturkräfte der unorganischen Welt lehren wir den Bedürfnissen des menschlichen Lebens und den Zwecken des menschlichen Geistes zu dienen. Die Anwendung des Dampfes hat die Körperkraft der Menschen in das Tausendfache und Millionenfache vermehrt; Webe- und Spinnmaschinen haben solche Arbeiten übernommen, deren einziges Verdienst geisttödtende Regelmässigkeit ist. Der Verkehr der Menschen untereinander mit seinen gewaltig eingreifenden materiellen und geistigen Folgen ist in einer Weise gesteigert, wie es sich Niemand auch nur hätte träumen lassen können in der Zeit, wo die Aelteren von uns ihr Leben begannen. Es sind aber nicht nur die Maschinen, durch welche die Menschenkräfte vervielfältigt werden; es sind nicht nur die gezogenen Gussstahlkanonen und Panzerschiffe, die Vorräthe an Lebensmitteln und Geld, auf denen

die Macht einer Nation beruht, obgleich diese Dinge so unzweifelhaft deutlich ihren Einfluss gezeigt haben, dass auch die stolzesten und unnachgiebigsten absoluten Regierungen unserer Zeit daran haben denken müssen, die Industrie zu entfesseln und den politischen Interessen der arbeitenden bürgerlichen Classen eine berechtigte Stimme in ihrem Rathe einzuräumen. Es ist auch die politische und rechtliche Organisation des Staates, die moralische Disciplin der Einzelnen, welche das Uebergewicht der gebildeten Nationen über die ungebildeten bedingt, und die letzteren, wo sie die Cultur nicht anzunehmen wissen, einer unausbleiblichen Vernichtung entgegenführt. Hier greift alles ineinander. Wo kein fester Rechtszustand ist, wo die Interessen der Mehrzahl des Volkes sich nicht in geordneter Weise geltend machen können, da ist auch Entwickelung des Nationalreichthums und der darauf beruhenden Macht unmöglich; und ein ordentlicher Soldat wird nur der werden können, welcher unter gerechten Gesetzen das Ehrgefühl eines selbständigen Mannes auszubilden gelernt hat, nicht der den Launen eines eigenwilligen Gebieters unterworfene Sclave.

Daher ist denn auch jede Nation als Ganzes schon durch die alleräusserlichsten Zwecke der Selbsterhaltung, auch ohne auf höhere ideale Forderungen Rücksicht zu nehmen, nicht nur an der Ausbildung der Naturwissenschaften und ihrer technischen Anwendung interessirt, sondern ebensogut an der Ausbildung der politischen, juristischen und moralischen Wissenschaften, und aller derjenigen historischen und philologischen Hilfsfächer, die diesen dienen. Keine, welche selbständig und einflussreich bleiben will, darf zurückbleiben. Auch fehlt diese Erkenntniss bei den cultivirten Völkern Europa's nicht. Die öffentlichen Mittel, welche den Universitäten, Schulen und wissenschaftlichen Anstalten zugewendet werden, übertreffen alles, was in früheren Zeiten dafür geleistet werden konnte. — Auch wir haben uns in diesem Jahre wieder einer neuen reichlichen Dotation von Seiten unserer Regierung und unserer Kammern zu rühmen [1]). — Ich sprach in der Einleitung von der wachsenden Theilung und Organisation der wissenschaftlichen Arbeit. In der That bilden die Männer der Wissenschaft eine Art organisirter Armee, welche zum Besten der ganzen Nation, und meistentheils ja auch in deren Auftrag

[1]) Es waren die Mittel zur Ausführung eines grossen Neubaus für naturwissenschaftliche Institute, kleinere Summen für die Krankenhäuser und die zoologische Sammlung bewilligt worden.

und auf deren Kosten, die Kenntnisse zu vermehren sucht, welche zur Steigerung der Industrie, des Reichthums, der Schönheit des Lebens, zur Verbesserung der politischen Organisation und der moralischen Entwickelung der Individuen dienen können. Nicht nach dem unmittelbaren Nutzen freilich darf dabei gefragt werden, wie es Ununterrichtete so oft thun. Alles was uns über die Naturkräfte oder die Kräfte des menschlichen Geistes Aufschluss giebt, ist werthvoll und kann zu seiner Zeit Nutzen bringen, gewöhnlich an einer Stelle, wo man es am allerwenigsten vermuthet hätte. Wem konnte es einfallen, als Galvani Froschschenkel mit verschiedenartigen Metallen berührte und sie zucken sah, dass 80 Jahre später Europa mit Dräthen durchzogen sein würde, welche Nachrichten mit Blitzesschnelle von Madrid nach Petersburg trugen mittels desselben Vorgangs, dessen erste Aeusserungen der genannte Anatom beobachtete! Die elektrischen Ströme waren in seinen und anfangs auch noch in Volta's Händen Vorgänge, die nur die allerschwächsten Kräfte ausübten und nur durch die allerzartesten Beobachtungsmittel wahrgenommen werden konnten. Hätte man sie liegen lassen, weil ihre Untersuchung keinen Nutzen versprach, so würden in unserer Physik die wichtigsten und interessantesten Verknüpfungen der verschiedenartigen Naturkräfte untereinander fehlen. Als der junge Galilei, als Student, in Pisa während des Gottesdienstes eine schaukelnde Lampe beobachtete und sich durch Abzählen seines Pulses überzeugte, dass die Dauer der Schwingungen unabhängig von der Grösse der Schwingungsbögen war, wer konnte damals wissen, dass diese Entdeckung dazu führen würde, mittels der Pendeluhren eine damals für unmöglich gehaltene Feinheit der Zeitmessung zu erreichen, und es dem von Stürmen verschlagenen Seefahrer in den entferntesten Gewässern der Erde möglich machen würde zu erkennen, auf welchem Längengrade er sich befinde!

Wer bei der Verfolgung der Wissenschaften nach unmittelbarem praktischen Nutzen jagt, kann ziemlich sicher sein, dass er vergebens jagen wird. Vollständige Kenntniss und vollständiges Verständniss des Waltens der Natur- und Geisteskräfte ist es allein, was die Wissenschaft erstreben kann. Der einzelne Forscher muss sich belohnt sehen durch die Freude an neuen Entdeckungen, als neuen Siegen des Gedankens über den widerstrebenden Stoff, durch die ästhetische Schönheit, welche ein wohlgeordnetes Gebiet von Kenntnissen gewährt, in welchem geistiger Zusammenhang zwischen allen einzelnen Theilen stattfindet, eines

aus dem andern sich entwickelt und alles die Spuren der Herrschaft des Geistes zeigt; er muss sich belohnt sehen durch das Bewusstsein, auch seinerseits zu dem wachsenden Capital des Wissens beigetragen zu haben, auf welchem die Herrschaft der Menschheit über die dem Geiste feindlichen Kräfte beruht. Er wird freilich nicht immer erwarten dürfen, auch äussere Anerkennung und Belohnung zu empfangen, die dem Werthe seiner Arbeit entspräche. Es ist wohl wahr, dass so Mancher, dem man nach seinem Tode ein Monument gesetzt hat, glücklich gewesen wäre, hätte man ihm während seines Lebens den zehnten Theil der dazu verwendeten Geldmittel eingehändigt. Indessen müssen wir doch anerkennen, dass der Werth wissenschaftlicher Entdeckungen gegenwärtig von der öffentlichen Meinung viel bereitwilliger anerkannt wird als früher, und dass solche Fälle, wo die Urheber bedeutender wissenschaftlicher Fortschritte darben mussten, immer seltener und seltener geworden sind; dass im Gegentheile die Regierungen und Völker Europa's im Ganzen die Pflicht anerkannt haben, ausgezeichnete Leistungen in der Wissenschaft durch entsprechende Stellungen oder durch besonders ausgeworfene Nationalbelohnungen zu vergelten.

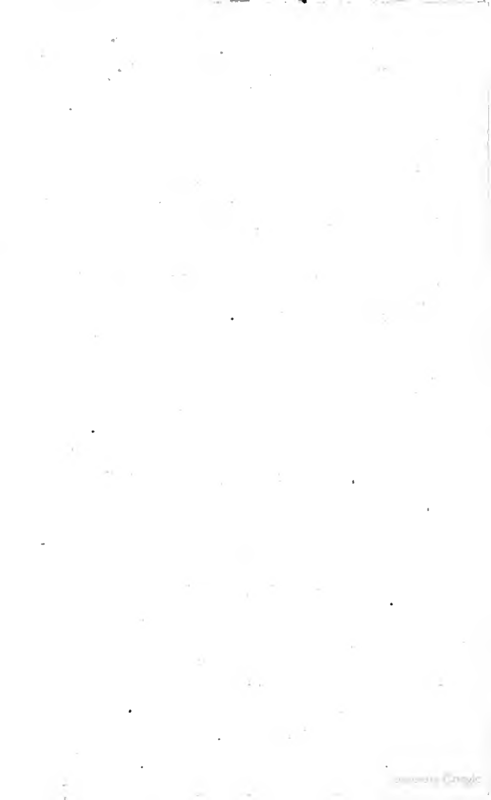
So haben in dieser Beziehung die Wissenschaften einen gemeinsamen Zweck, den Geist herrschend zu machen über die Welt. Während die Geisteswissenschaften direct daran arbeiten, den Inhalt des geistigen Lebens reicher und interessanter zu machen, das Reine vom Unreinen zu sondern, so streben die Naturwissenschaften indirect nach demselben Ziele, indem sie den Menschen von den auf ihn eindrängenden Nothwendigkeiten der Aussenwelt mehr und mehr zu befreien suchen. Jeder einzelne Forscher arbeitet in seinem Theile, er wählt sich diejenigen Aufgaben, denen er vermöge seiner geistigen Anlage und seiner Bildung am meisten gewachsen ist. Jeder einzelne muss aber wissen, dass er nur im Zusammenhange mit den Andern das grosse Werk weiter zu fördern im Stande ist, und dass er deshalb auch verpflichtet ist, die Ergebnisse seiner Arbeit den übrigen möglichst vollständig und leicht zugänglich zu machen. Dabei wird er Unterstützung finden bei den Andern und wird ihnen wieder seine Unterstützung leihen können. Die Annalen der Wissenschaft sind reich an Beweisen, wie solches Wechselverhältniss zwischen den scheinbar entlegensten Gebieten eingetreten ist. Die historische Chronologie ist wesentlich gestützt auf astronomische Berechnungen von Sonnen- und Mondfinsternissen, von denen die Nachricht

in den alten Geschichtsbüchern aufbewahrt ist. Umgekehrt beruhen manche wichtige Data der Astronomie, z. B. die Unveränderlichkeit der Tageslänge, die Umlaufszeit mancher Cometen auf alten historischen Nachrichten. Neuerdings haben es die Physiologen, unter ihnen namentlich Brücke, unternehmen können, das vollständige System der von den menschlichen Sprachwerkzeugen zu bildenden Buchstaben aufzustellen und darauf Vorschläge zu einer allgemeinen Buchstabenschrift zu gründen, welche für alle menschlichen Sprachen passt. Hier ist also die Physiologie in den Dienst der allgemeinen Sprachwissenschaft getreten und hat schon die Erklärung mancher sonderbar scheinenden Lautumwandlungen geben können, indem diese nicht, wie man bisher es auszudrücken pflegte, durch die Gesetze der Euphonie, sondern durch die Aehnlichkeit der Mundstellungen bedingt waren. Die allgemeine Sprachwissenschaft giebt wiederum Kunde von den uralten Verwandtschaften, Trennungen und Wanderungen der Volksstämme in vorgeschichtlicher Zeit, und von dem Grade der Cultur, den sie zur Zeit ihrer Trennung erlangt hatten. Denn die Namen derjenigen Gegenstände, die sie damals schon zu benennen wussten, finden sich in den späteren Sprachen gemeinsam wieder. So liefert also das Studium der Sprachen historische Nachrichten aus Zeiten, für welche sonst kein historisches Document existirt. Ich erinnere ferner an die Hülfe, welche der Anatom dem Bildhauer leisten kann, wie dem Archäologen, welcher alte Sculpturwerke untersucht. Ist es mir erlaubt, eigener neuester Arbeiten hier zu gedenken, so will ich noch erwähnen, dass es möglich ist, durch die Physik des Schalls und die Physiologie der Tonempfindungen die Elemente der Construction unseres musikalischen Systems zu begründen, welche Aufgabe wesentlich in das Fach der Aesthetik hineingehört. Die Physiologie der Sinnesorgane überhaupt tritt in engste Verbindung mit der Psychologie, indem sie in den Sinneswahrnehmungen die Resultate psychischer Processe nachweist, welche nicht in das Bereich des auf sich selbst reflectirenden Bewusstseins fallen und deshalb nothwendig der psychologischen Selbstbeobachtung verborgen bleiben mussten.

Ich konnte hier nur die auffälligsten, mit wenigen Worten leicht zu bezeichnenden Beispiele solchen Ineinandergreifens Ihnen anführen und musste dazu die Beziehungen zwischen möglichst fern stehenden Wissenschaften wählen. Aber viel ausgedehnter natürlich ist der Einfluss, welchen jede Wissenschaft auf die ihr

nächst verwandten ausübt; dieser ist selbstverständlich, von ihm brauche ich nicht zu reden, jeder von Ihnen kennt ihn aus eigener Erfahrung.

So also betrachte sich jeder Einzelne als einen Arbeiter an einem gemeinsamen grossen Werke, welches die edelsten Interessen der ganzen Menschheit berührt, nicht als einen, der zur Befriedigung seiner eigenen Wissbegier oder seines eigenen Vortheils, oder um mit seinen eigenen Fähigkeiten zu glänzen sich bemüht, dann wird ihm auch das eigene lohnende Bewusstsein und die Anerkennung seiner Mitbürger nicht fehlen. Und gerade diese Beziehung aller Forscher und aller Zweige des Wissens zu einander und zu ihrem gemeinsamen Ziele stets in lebendigem Zusammenwirken zu erhalten, das ist die grosse Aufgabe der Universitäten; darum ist es nöthig, dass an ihnen die vier Facultäten stets Hand in Hand gehen, und in diesem Sinne wollen wir uns bemühen, so weit es an uns ist, dieser grossen Aufgabe nachzustreben.



ÜBER

GOETHE'S NATURWISSENSCHAFTLICHE ARBEITEN.

Vortrag

gehalten

im Frühling 1853 in der deutschen Gesellschaft

zu Königsberg.

Goethe, dessen umfassendes Talent namentlich in der besonnenen Klarheit hervortrat, womit er die Wirklichkeit des Menschen und der Natur in ihren kleinsten Zügen mit lebensfrischer Anschauung festzuhalten und wiederzugeben wusste, wurde durch diese besondere Richtung seines Geistes auch mit Nothwendigkeit zu naturwissenschaftlichen Studien hingeführt, in denen er nicht nur aufnahm, was Andere ihn zu lehren wussten, sondern auch, wie es bei einem so ursprünglichen Geiste nicht anders sein konnte, bald selbstthätig und zwar in höchst eigenthümlicher Weise einzugreifen versuchte. Er wandte seine Thätigkeit sowohl dem Gebiete der beschreibenden, als dem der physikalischen Naturwissenschaften zu; jenes geschah namentlich in seinen botanischen und osteologischen Abhandlungen, dieses in der Farbenlehre. Die ersten Gedankenkeime dieser Arbeiten fallen meist in das letzte Jahrzehnt des vorigen Jahrhunderts, wenn auch ihre Ausführung und Darstellung theilweise später vollendet ist. Seitdem hat die Wissenschaft in sehr ausgedehnter Weise vorwärtsgearbeitet, zum Theil ganz neues Ansehen gewonnen, ganz neue Gebiete der Forschung eröffnet, ihre theoretischen Vorstellungen mannigfach geändert. Ich will versuchen, im Vorliegenden das Verhältniss von Goethe's Arbeiten zum gegenwärtigen Standpunkte der Naturwissenschaften zu schildern und den gemeinsamen leitenden Gedanken derselben anschaulich zu machen.

Der eigenthümliche Charakter der beschreibenden Naturwissenschaften, Botanik, Zoologie, Anatomie u. s. w., wird dadurch bedingt, dass sie ein ungeheures Material von Thatsachen zu sammeln, zu sichten und zunächst in eine logische Ordnung, ein System, zu bringen haben. So weit ist ihre Arbeit nur die trockene eines Lexicographen, ihr System ein Repositorium, in welchem die

Masse der Acten so geordnet ist, dass jeder in jedem Augenblicke das Verlangte finden kann. Der geistigere Theil ihrer Arbeit und ihr eigentliches Interesse beginnt erst, wenn sie versuchen, den zerstreuten Zügen von Gesetzmässigkeit in der unzusammenhängenden Masse nachzuspüren und sich daraus ein übersichtliches Gesammtbild herzustellen, in welchem jedes Einzelne seine Stelle und sein Recht behält und durch den Zusammenhang mit dem Ganzen an Interesse noch gewinnt. Hier fand der ordnende und ahnende Geist unseres Dichters ein geeignetes Feld für seine Thätigkeit, und zugleich war die Zeit ihm günstig. Er fand schon genug Material in der Botanik und vergleichenden Anatomie gesammelt und logisch geordnet vor, um eine umfassende Rundschau zu erlauben und auf richtige Ahnungen einer durchgehenden Gesetzmässigkeit hinzulenken; dagegen irrten die Bestrebungen seiner Zeitgenossen in dieser Beziehung meist ohne Leitfaden umher, oder sie waren noch so von der Mühe des trockenen Einregistrirens in Anspruch genommen, dass sie an weitere Aussichten kaum zu denken wagten. Hier war es Goethe vorbehalten, zwei bedeutende Gedanken von ungemeiner Fruchtbarkeit in die Wissenschaft hineinzuwerfen.

Der erste war die Idee, dass die Verschiedenheiten in dem anatomischen Baue der verschiedenen Thiere aufzufassen seien als Abänderungen eines gemeinsamen Bauplanes oder Typus, bedingt durch die verschiedene Lebensweise, Wohnorte, Nahrungsmittel. Die Veranlassung für diesen folgereichen Gedanken war sehr unscheinbar und findet sich in der schon 1786 geschriebenen kleinen Abhandlung über das Zwischenkieferbein. Man wusste, das bei sämmtlichen Wirbelthieren (d. h. Säugethieren, Vögeln, Amphibien, Fischen) die obere Kinnlade jederseits aus zwei Knochenstücken besteht, dem sogenannten Oberkiefer- und Zwischenkieferbein. Ersteres enthält bei den Säugethieren stets die Backen- und Eckzähne, letzteres die Schneidezähne. Der Mensch, welcher sich von ihnen allen durch den Mangel der vorragenden Schnauze unterscheidet, hatte dagegen jederseits nur ein Knochenstück, das Oberkieferbein, welches alle Zähne enthielt. Da entdeckte Goethe auch an menschlichen Schädeln schwache Spuren der Nähte, welche bei den Thieren Oberkiefer und Zwischenkiefer verbinden, und schloss daraus, dass auch der Mensch ursprünglich einen Zwischenkiefer besitze, der aber später durch Verschmelzung mit dem Oberkiefer verschwinde. Diese unscheinbare Thatsache lässt ihn sogleich einen Quell des anregendsten Interesses in dem wegen seiner

Trockenheit übel berüchtigten Boden der Osteologie entdecken. Dass Mensch und Thier ähnliche Theile zeigen, wenn sie diese Theile zu ähnlichen Zwecken dauernd gebrauchen, hatte nichts Ueberraschendes gehabt. In diesem Sinne hatte schon Camper die Aehnlichkeiten des Baues bis zu den Fischen hin zu verfolgen gesucht. Aber dass diese Aehnlichkeit auch in einem Falle der Anlage nach bestehe, wo sie den Anforderungen des vollendeten menschlichen Baues offenbar nicht entspricht, und ihnen deshalb nachträglich durch Verwachsung der getrennt entstandenen Theile angepasst werden muss, das war ein Wink, welcher Goethe's geistigem Auge genügte, um ihm einen Standpunkt von weit umfassender Aussicht anzuzeigen. Weitere Studien überzeugten ihn bald von der Allgemeingültigkeit seiner neugewonnenen Anschauung, so dass er im Jahre 1795 und 1796 die ihm dort aufgegangene Idee näher bestimmen und in dem Entwurf einer allgemeinen Einleitung in die vergleichende Anatomie zu Papier bringen konnte. Er lehrt darin mit der grössten Entschiedenheit und Klarheit, dass alle Unterschiede im Baue der Thierarten als Veränderungen des einen Grundtypus aufgefasst werden müssten, welche durch Verschmelzung, Umformung, Vergrösserung, Verkleinerung oder gänzliche Beseitigung einzelner Theile hervorgebracht seien. Es ist das im gegenwärtigen Zustande der vergleichenden Anatomie in der That die leitende Idee dieser Wissenschaft geworden. Sie ist später nirgends besser und klarer ausgesprochen, als es Goethe gethan hatte, auch hat die Folgezeit wenige wesentliche Veränderungen daran vorgenommen, deren wichtigste die ist, dass man den gemeinsamen Typus jezt nicht für das ganze Thierreich zu Grunde legt, sondern für jede der von Cuvier aufgestellten Hauptabtheilungen desselben. Der Fleiss von Goethe's Nachfolgern hat ein unendlich reicheres, wohlgesichtetes Material zusammengehäuft und, was er nur in allgemeinen Andeutungen geben konnte, in das Speciellste verfolgt und durchgeführt.

Die zweite leitende Idee, welche Goethe der Wissenschaft schenkte, sprach eine ähnliche Analogie zwischen den verschiedenen Theilen ein und desselben organischen Wesens aus, wie wir sie eben für die entsprechenden Theile verschiedener Arten beschrieben haben. Die meisten Organismen zeigen eine vielfältige Wiederholung einzelner Theile. Am auffallendsten thun das die Pflanzen; eine jede pflegt eine grosse Anzahl gleicher Stengelblätter, gleicher Blüthenblätter, Staubfäden u. s. w. zu haben. In-

dem nun Goethe, wie er erzählt, zuerst bei einer Fächerpalme in Padua darauf aufmerksam wurde, wie mannigfache Uebergänge zwischen den verschiedensten Formen die nach einander sich entwickelnden Stengelblätter einer Pflanze zeigen können, wie statt der ersten einfachsten Wurzelblättchen sich immer mehr und mehr getheilte bis zu den zusammengesetztesten Fiederblättern entwickeln, gelang es ihm auch später die Uebergänge zwischen den Blättern des Stengels und denen des Kelchs und der Blüthe, zwischen letzteren und den Staubfäden, Nectarien und Samengebilden zu finden und so zur Lehre von der Metamorphose der Pflanzen zu gelangen, welche er 1790 veröffentlichte. Wie die vordere Extremität der Wirbelthiere sich bald zum Arm beim Menschen und Affen, bald zur Pfote mit Nägeln, bald zum Vorderfuss mit Hufen, bald zur Flosse, bald zum Flügel entwickelt und immer eine ähnliche Gliederung, Stellung und Verbindung mit dem Rumpfe behält, so erscheint das Blatt bald als Keimblatt, Stengelblatt, Kelchblatt, Blüthenblatt, Staubfaden, Honiggefäss, Pistill, Samenhülle u. s. w. immer mit einer gewissen Aehnlichkeit der Entstehung und Zusammensetzung und unter ungewöhnlichen Umständen auch bereit, aus der einen Form in die andere überzugehen, wie z. B. Jeder, der reich gefüllte Rosen aufmerksam betrachtet, die theils halb, theils ganz in Blüthenblätter verwandelten Staubfäden erkennen wird. Auch diese Anschauungsweise Goethe's ist gegenwärtig in die Wissenschaft vollständig eingebürgert und erfreut sich der allgemeinen Zustimmung der Botaniker, wenn auch über einzelne Deutungen gestritten wird, z. B. ob der Samen ein Blatt oder ein Zweig sei.

Unter den Thieren ist die Zusammensetzung aus ähnlichen Theilen sehr auffallend in der grossen Abtheilung der Geringelten, z. B. Insecten, Ringelwürmer. Die Insectenlarve, die Raupe eines Schmetterlings besteht aus einer Anzahl ganz gleicher Körperabtheilungen, der Leibesringel; nur die erste und letzte zeigen geringe Abweichungen. Bei ihrer Verwandlung zum vollkommenen Insecte bewährt sich sehr leicht und deutlich die Anschauungsweise, welche Goethe in der Metamorphose der Pflanzen aufgefasst hatte, die Entwickelung des ursprünglich Gleichartigen zu anscheinend sehr verschiedenen Formen. Die Ringel des Hinterleibes behalten ihre ursprüngliche einfache Form, die des Bruststücks ziehen sich stark zusammen, entwickeln Füsse und Flügel, die des Kopfes Kinnladen und Fühlhörner, so dass an vollkommenen Insecten die ursprünglichen Ringel nur noch am Hintertheile

zu erkennen sind. Auch in den Wirbelthieren ist eine Wiederholung gleichartiger Theile in der Wirbelsäule angedeutet, aber in der äusseren Gestalt nicht mehr zu erkennen. Ein glücklicher Blick auf einen halbgesprengten Schafschädel, welchen Goethe 1790 im Sande des Lido von Venedig zufällig fand, lehrte ihn auch den Schädel als eine Reihe stark veränderter Wirbel aufzufassen. Beim ersten Anblick kann nichts unähnlicher sein, als die weite, einförmige, von platten Knochen begränzte Schädelhöhle der Säugethiere und das enge cylindrische Rohr der Wirbelsäule, aus kurzen, massigen und vielfach gezackten Knochen zusammengesetzt. Es gehört ein geistreicher Blick dazu, um im Schädel der Säugethiere die ausgeweiteten und umgeformten Wirbelringe wiederzuerkennen, während bei Amphibien und Fischen die Aehnlichkeit auffallender ist. Goethe liess übrigens diesen Gedanken lange liegen, ehe er ihn veröffentlichte; wie es scheint, weil er seiner günstigen Aufnahme nicht recht sicher war. Unterdessen fand 1806 auch Oken denselben, führte ihn in die Wissenschaft ein und gerieth darüber in einen Prioritätsstreit mit Goethe, welcher erst 1817, als der Gedanke anfing sich Beifall zu erwerben, erklärte, dass er ihn seit 30 Jahren gehegt habe. Ueber die Zahl und die Zusammensetzung der einzelnen Schädelwirbel ist und wird noch viel gestritten, der Grundgedanke hat sich aber erhalten.

Uebrigens scheinen auch seine Ansichten über den gemeinsamen Bauplan der Thiere nicht eigentlich direct in den Entwickelungsgang der Wissenschaften eingegriffen zu haben. Die Lehre von der Pflanzenmetamorphose ist als sein anerkanntes und directes Eigenthum in die Botanik eingeführt worden. Seine osteologischen Ansichten dagegen stiessen zuerst auf Widerspruch bei den Männern vom Fache und wurden erst später, als sich die Wissenschaft, wie es scheint, unabhängig zu derselben Erkenntniss durchgearbeitet hatte, Gegenstand der Aufmerksamkeit. Er selbst klagt, dass seine ersten Ideen über den gemeinsamen Typus zur Zeit, als er sie in sich durcharbeitete, nur Widerspruch und Zweifel gefunden hätten, dass selbst Geister von frisch aufkeimender Originalität, wie die Brüder v. Humboldt, sie mit einer gewissen Ungeduld angehört hätten. Uebrigens liegt es in der Natur der Sache, dass theoretische Ideen in den Naturwissenschaften nur dann die Aufmerksamkeit der Fachgenossen erregen, wenn sie gleichzeitig mit dem ganzen beweisenden Materiale vorgeführt werden und durch dieses ihre substantielle Berechtigung darlegen. Jedenfalls gebührt aber Goethen der grosse Ruhm, die leitenden

Ideen zuerst vorausgeschaut zu haben, zu denen der eingeschlagene Entwickelungsgang der genannten Wissenschaften hindrängte, und durch welche deren gegenwärtige Gestalt bestimmt wird.

So gross nun aber auch die Verehrung ist, welche sich Goethe durch seine Leistungen in den beschreibenden Naturwissenschaften erworben hat, ebenso unbedingt ist der Widerspruch, den sämmtliche Fachgelehrte seinen Arbeiten aus dem Gebiete der physikalischen Naturwissenschaften entgegensetzen, namentlich seiner Farbenlehre. Es ist hier nicht die Stelle, mich in die darüber geführte Polemik einzulassen, ich will nur versuchen, den Gegenstand des Streites darzulegen und nachzuweisen, was sein verborgener Sinn, seine eigentliche Bedeutung sei. Es ist in dieser Beziehung von Wichtigkeit, auf die Entstehungsgeschichte der Farbenlehre und ihren ersten einfachsten Stand zurückzugehen, weil hier schon die Gegensätze vollständig vorhanden sind und, nicht durch Streit um die Richtigkeit besonderer Thatsachen und verwickelter Theorien verhüllt, sich leicht und klar aufweisen lassen.

Goethe erzählt selbst sehr hübsch in der Confession am Schlusse seiner Geschichte der Farbenlehre, wie er dazu gekommen sei, diese zu bearbeiten. Weil er sich die ästhetischen Grundsätze des Colorits in der Malerei nicht klar machen konnte, beschloss er, die physikalische Farbenlehre, wie sie ihm auf der Universität gelehrt worden war, wieder vorzunehmen und die dazu gehörigen Versuche selbst zu wiederholen. Er borgt zu dem Ende ein Glasprisma vom Hofrath Büttner in Jena, lässt es aber längere Zeit unbenutzt liegen, weil andere Beschäftigungen ihn von seinem Vorsatze ablenken. Der Eigenthümer, ein ordnungsliebender Mann, schickt nach mehreren vergeblichen Mahnungen einen Boten, der das Prisma gleich mit sich zurücknehmen soll. Goethe sucht es aus dem Kasten hervor und möchte doch wenigstens noch einen Blick hindurch thun. Er sieht auf das Gerathewohl nach einer ausgedehnten hellen weissen Wand hin, in der Voraussetzung, da sei viel Licht, da müsse er auch eine glänzende Zerlegung dieses Lichts in Farben sehen, eine Voraussetzung, welche übrigens beweist, wie wenig gegenwärtig ihm Newtons Theorie der Sache war. Er findet sich natürlich getäuscht. Auf der weissen Wand erscheinen ihm keine Farben, diese entwickeln sich erst da, wo sie von dunkeleren Gegenständen begränzt wird, und er macht die richtige Bemerkung, welche übrigens in Newtons Theorie ebenfalls ihre vollständige Begründung findet, dass Farben durch das Prisma nur da erscheinen, wo ein dunkelerer Gegenstand an einen

helleren stösst. Betroffen von dieser ihm neuen Bemerkung und in der Meinung, sie sei mit Newtons Theorie nicht vereinbar, sucht er den Eigenthümer des Prisma zu beschwichtigen und macht sich nun mit angestrengtem Eifer und Interesse über die Sache her. Er bereitet sich Tafeln mit schwarzen und weissen Feldern, studirt an diesen die Erscheinungen unter mannigfachen Abänderungen, bis er seine Regeln hinreichend bewährt glaubt. Nun versucht er, seine vermeintliche Entdeckung einem benachbarten Physiker zu zeigen, und ist unangenehm überrascht, von diesem die Versicherung zu hören, die Versuche seien allbekannt und erklärten sich vollständig aus Newtons Theorie der Sache. Dieselbe Erklärung trat ihm von nun an unabänderlich aus dem Munde jedes Sachverständigen entgegen, selbst bei dem genialen Lichtenberg, den er eine Zeit lang vergebens zu bekehren suchte. Newtons Schriften studirte er, glaubte aber Trugschlüsse darin aufgefunden zu haben, welche den Grund des Irrthums enthielten. Da er von seinen Bekannten keinen überzeugen konnte, beschloss er endlich vor den Richterstuhl der Oeffentlichkeit zu treten und gab 1791 und 1792 das erste und zweite Stück seiner Beiträge zur Optik heraus.

Darin sind die Erscheinungen beschrieben, welche weisse Felder auf schwarzem Grunde, schwarze auf weissem und farbige Felder auf schwarzem oder weissem Grunde darbieten, wenn sie durch ein Prisma angesehen werden. Ueber den Erfolg der Versuche ist durchaus kein Streit zwischen ihm und den Physikern. Er beschreibt die gesehenen Erscheinungen umständlich, streng naturgetreu und lebhaft, ordnet sie in einer angenehm zu übersehenden Weise zusammen und bewährt sich hier wie überall im Gebiete des Thatsächlichen als der grosse Meister der Darstellung. Er spricht dabei aus, dass er die vorgetragenen Thatsachen zur Widerlegung von Newtons Theorie geeignet halte. Namentlich sind es zwei Punkte, an denen er Anstoss genommen hat, dass nämlich die Mitte einer weissen breiteren Fläche durch das Prisma gesehen weiss bleibe, und dass auch ein schwarzer Streifen auf weissem Grunde ganz in Farben aufgelöst werden könne.

Newtons Farbentheorie gründet sich auf die Annahme, dass es Licht verschiedener Art gebe, welches sich unter anderen auch durch den Farbeneindruck unterscheide, den es im Auge mache. So gebe es Licht von rother, orangener, gelber, grüner, blauer, violetter Farbe und von allen zwischenliegenden Uebergangsstufen. Licht verschiedener Art und Farbe zusammengemischt gebe Misch-

farben, die theils anderen ursprünglichen Farben ähnlich sehen, theils neue Farbentöne bilden. Weiss sei die Mischung aller genannten Farben in bestimmten Verhältnissen. Aus den Mischfarben und dem Weiss könne man aber stets die einfachen Farben wieder ausscheiden, die letzteren seien dagegen unzerlegbar und unveränderlich. Die Farben der durchsichtigen und undurchsichtigen irdischen Körper entständen daher, dass diese von weissem Lichte getroffen einzelne farbige Theile desselben vernichteten, andere, welche nun nicht mehr im richtigen Verhältnisse gemischt seien, um Weiss zu geben, dem Auge zuschickten. So erscheine ein rothes Glas deshalb roth, weil es nur rothe Strahlen durchlasse. Alle Farbe rühre also nur von einem veränderten Mischungsverhältnisse des Lichtes her, gehöre also ursprünglich dem Lichte an, nicht den Körpern, und letztere geben nur die Veranlassung zu ihrem Hervortreten.

Ein Prisma bricht das durchgehende Licht, d. h. lenkt es um einen gewissen Winkel von seinem Wege ab; verschiedenfarbiges einfaches Licht hat nach Newton verschiedene Brechbarkeit, schlägt nach der Brechung im Prisma deshalb verschiedene Wege ein und trennt sich von einander. Ein heller Punkt von verschwindend kleiner Grösse erscheint deshalb durch das Prisma gesehen aus seiner Stelle gerückt und in eine farbige Linie ausgezogen, ein sogenanntes Farbenspectrum, welches die genannten einfachen Farben in der angegebenen Reihenfolge zeigt. Betrachtet man eine breitere helle Fläche, so fallen die Spectra der in ihrer Mitte gelegenen Punkte so übereinander, wie eine leichte geometrische Untersuchung zeigt, dass überall alle Farben in dem Verhältnisse, um Weiss zu geben, zusammentreffen. Nur an den Rändern werden sie theilweise frei. Es erscheint daher die weisse Fläche verschoben, an dem einen Rande blau und violett, am andern gelb und roth gesäumt. Ein schwarzer Streif zwischen zwei weissen Flächen kann von deren farbigen Säumen ganz bedeckt werden, und wo sie in der Mitte zusammenstossen, mischen sich roth und violett zur Purpurfarbe; die Farben, in die der schwarze Streif aufgelöst erscheint, entstehen also nicht aus dem Schwarzen, sondern aus dem umgebenden Weissen.

Im ersten Augenblicke hat Goethe offenbar Newtons Theorie zu wenig im Gedächtnisse gehabt, um die physikalische Erklärung der genannten Thatsachen, die ich eben angedeutet habe, finden zu können. Später ist sie ihm vielfach und zwar durchaus verständlich vorgetragen worden, denn er spricht darüber mehrere

Male so, dass man sieht, er habe sie ganz richtig verstanden *). Sie genügt ihm aber so wenig, dass er dennoch fortwährend bei der Behauptung bleibt, die angegebenen Thatsachen seien geeignet, Jedem, der sie nur ansehe, die gänzliche Unrichtigkeit von Newtons Theorie vor Augen zu legen, ohne dass er aber weder hier noch in seinen spätern polemischen Schriften auch nur ein einziges Mal bestimmt bezeichnet, worin denn das Ungenügende der Erklärung liegen solle. Er wiederholt nur immer wieder und wieder die Versicherung ihrer gänzlichen Absurdität. Und doch weiss ich nicht, wie Jemand, er möge eine Ansicht über die Farben haben, welche er wolle, läugnen kann, dass die Theorie in sich vollständig consequent ist, dass ihre Annahmen, wenn man sie einmal zugiebt, die besprochenen Thatsachen vollständig und sogar einfach erklären. Newton selbst erwähnt an vielen Stellen seiner optischen Schriften solcher unreinen Spectra, deren Mitte noch weiss ist, ohne sich je in eine besondere Erörterung darüber einzulassen, offenbar in der Meinung, dass die Erklärung davon aus seinen Annahmen sich von selbst verstehe. Und er scheint sich in dieser Meinung nicht getäuscht zu haben, denn als Goethe anfing, auf die betreffenden Erscheinungen aufmerksam zu machen, trat ihm Jeder, der etwas von der Physik wusste, wie er selbst berichtet, unabänderlich mit dieser selben Erklärung aus Newtons Principien sogleich entgegen, die sich also ein Jeder doch auf der Stelle zu bilden im Stande war.

Den Lesenden, der aufmerksam und gründlich jeden Schritt in diesem Theile der Farbenlehre sich klar zu machen sucht, überschleicht hier leicht ein unheimliches ängstliches Gefühl; er hört fortdauernd einen Mann von der seltensten geistigen Begabung leidenschaftlich versichern, hier in einigen scheinbar ganz klaren, ganz einfachen Schlüssen sei eine augenfällige Absurdität verborgen. Er sucht und sucht, und da er beim besten Willen keine solche finden kann, nicht einmal einen Schein davon, wird ihm endlich zu Muthe, als wären seine eigenen Gedanken wie festgenagelt. Aber eben wegen dieses offenen und schroffen Widerspruchs ist der Standpunkt Goethe's in der Farbenlehre von 1792 so interessant und wichtig. Er hat hier seine eigne Theorie noch nicht entwickelt, es handelt sich noch um einige wenige leicht zu übersehende Thatsachen, über deren Richtigkeit alle Parteien einig

*) In der Erklärung der neunten Kupfertafel zur Farbenlehre, welche gegen Green gerichtet ist.

sind, und doch stehen beide mit ihren Ansichten streng gesondert einander gegenüber; keiner begreift auch nur, was der Gegner eigentlich wolle. Auf der einen Seite steht eine Zahl von Physikern, welche durch lange Reihen der scharfsinnigsten Untersuchungen, Rechnungen, Erfindungen die Optik zu einer Vollendung gebracht haben, dass sie als die einzige der physikalischen Wissenschaften mit der Astronomie fast zu wetteifern anfing. Alle haben theils durch directe Untersuchungen, theils durch die Sicherheit, mit der sie den Erfolg der mannigfaltigsten Constructionen und Combinationen von Instrumenten voraus berechnen können, Gelegenheit gehabt, die Folgerungen aus Newtons Ansichten an der Erfahrung zu prüfen, und stimmen in diesem Felde ausnahmslos überein. Auf der andern Seite steht ein Mann, dessen seltene geistige Begabung, dessen besonderes Talent für die Auffassung der thatsächlichen Wirklichkeit wir nicht nur in der Dichtkunst, sondern auch in den beschreibenden Theilen der Naturwissenschaften anzuerkennen Ursache haben, der mit dem grössten Eifer versichert, jene seien im Irrthume, der in seiner Ueberzeugung so gewiss ist, dass er sich jeden Widerspruch nur durch Beschränktheit oder bösen Willen der Gegner erklären kann, der endlich seine Leistungen in der Farbenlehre für viel werthvoller achten zu müssen erklärt, als was er je in der Dichtkunst gethan habe *).

Ein so schroffer Widerspruch lässt uns vermuthen, dass hinter der Sache ein viel tiefer liegender principieller Gegensatz verschiedener Geistesrichtungen verborgen sei, der das gegenseitige Verständniss der streitenden Parteien verhindere. Ich will mich bemühen, im Folgenden zu bezeichnen, worin ich einen solchen finden zu können glaube.

Goethe, obgleich er sich in vielen Feldern geistiger Thätigkeit versucht hat, ist doch seiner hervorragendsten Begabung nach Dichter. Das Wesentliche der dichterischen, wie jeder künstlerischen Thätigkeit besteht darin, das künstlerische Material zum unmittelbaren Ausdrucke der Idee zu machen. Nicht als Resultat einer Begriffsentwickelung, sondern als das der unmittelbaren geistigen Anschauung, des erregten Gefühls, dem Dichter selbst kaum bewusst, muss die Idee in dem vollendeten Kunstwerk daliegen und es beherrschen. Durch diese Einkleidung in die Form unmittelbarer Wirklichkeit empfängt der ideelle Gehalt des Kunst-

*) S. Eckermanns Gespräche.

werks eben die ganze Lebendigkeit des unmittelbaren sinnlichen Eindrucks, verliert aber natürlich die Allgemeinheit und Verständlichkeit, welche er in der Form des Begriffs vorgetragen haben würde. Der Dichter, welcher in dieser besonderen Art der geistigen Thätigkeit die eigene wunderbare Kraft seiner Werke begründet fühlt, sucht dieselbe auch auf andere Gebiete zu übertragen. Die Natur sucht er nicht in anschauungslose Begriffe zu fassen, sondern stellt sich ihr wie einem in sich geschlossenen Kunstwerke gegenüber, welches seinen geistigen Inhalt von selbst hier oder dort dem empfänglichen Beschauer offenbaren müsse. So macht er beim Anblick des gesprengten Schafschädels auf dem Lido von Venedig, an dem ihm die Wirbeltheorie des Schädels aufgeht, die Bemerkung, dass ihm davon sein alter, durch Erfahrung bestärkter Glauben wieder aufgefrischt sei, welcher sich fest darauf begründet, dass die Natur kein Geheimniss habe, was sie nicht irgendwo dem aufmerksamen Beobachter nackt vor die Augen stellt. Dasselbe in seinem ersten Gespräch mit Schiller über die Metamorphose der Pflanzen. Für Schiller, als einen Kantianer, ist die Idee das ewig zu erstrebende, ewig unerreichbare und daher nie in der Wirklichkeit darzustellende Ziel, während Goethe als ächter Dichter in der Wirklichkeit den unmittelbaren Ausdruck der Idee zu finden meint. Er selbst giebt an, dass dadurch der Punkt, der ihn von Schiller trennte, auf das Strengste bezeichnet war. Hier liegt auch seine Verwandtschaft mit Schellings und Hegels Naturphilosophie, welche ebenfalls von der Annahme ausgeht, dass die Natur die verschiedenen Entwickelungsstufen des Begriffs unmittelbar darstelle. Daher auch die Wärme, mit der Hegel und seine Schüler Goethe's naturwissenschaftliche Ansichten vertheidigt haben. Die bezeichnete Naturansicht bedingt bei Goethe denn auch die fortgesetzte Polemik gegen zusammengesetzte Versuchsweisen. Wie das ächte Kunstwerk keinen fremden Eingriff erträgt, ohne beschädigt zu werden, so wird ihm auch die Natur durch die Eingriffe des Experimentirenden in ihrer Harmonie gestört, gequält, verwirrt, und sie täuscht dafür den Störenfried durch ein Zerrbild.

> Geheimnissvoll am lichten Tag
> Lässt sich Natur des Schleiers nicht berauben,
> Und was sie deinem Geist nicht offenbaren mag,
> Das zwingst du ihr nicht ab mit Hebeln und mit Schrauben.

Demgemäss spottet er namentlich in seiner Polemik gegen Newton häufig der durch viele enge Spalten und Gläser hindurch-

gequälten Farbenspectra und preiset die Versuche, welche man in klarem Sonnenschein unter freiem Himmel anstellen könne, nicht nur als besonders leicht und besonders ergötzlich, sondern auch als besonders beweisend.

Die dichterische Richtung geistiger Thätigkeit charakterisirt sich schon in seinen morphologischen Arbeiten ganz entschieden. Man untersuche nur, was denn nun eigentlich mit den Ideen geleistet sei, die die Wissenschaft von ihm empfangen hat, man wird ein höchst wunderliches Verhältniss finden. Niemand wird sich gegen die Evidenz verschliessen, wenn ihm die Reihenfolge der Uebergänge vorgelegt wird, womit ein Blatt in einen Staubfaden, ein Arm in einen Flügel oder eine Flosse, ein Wirbel in das Hinterhauptbein übergeht. Die Idee, sämmtliche Blüthentheile der Pflanze seien umgeformte Blätter, eröffnet einen gesetzmässigen Zusammenhang, der etwas sehr Ueberraschendes hat. Jetzt suche man das blattartige Organ zu definiren, sein Wesen zu bestimmen, so dass es alle die genannten Gebilde in sich begreift. Man geräth in Verlegenheit, weil alle besonderen Merkmale verschwinden, und man zuletzt nichts übrig behält, als dass ein Blatt im weiteren Sinne ein seitlicher Anhang der Pflanzenaxe sei. Sucht man also den Satz: „die Blüthentheile sind veränderte Blätter," in der Form wissenschaftlicher Begriffsbestimmungen auszusprechen, so verwandelt er sich in den anderen: „die Blüthentheile sind seitliche Anhänge der Pflanzenaxe," und um das zu sehen, brauchte kein Goethe zu kommen. Ebenso hat man der Wirbeltheorie des Schädels nicht mit Unrecht vorgeworfen, sie müsse den Begriff des Wirbels so sehr erweitern, dass nichts übrig bleibe, als ein Wirbel sei ein Knochen. Nicht kleiner ist die Verlegenheit, wenn man in klaren wissenschaftlichen Begriffen definiren soll, was es bedeute, dass dieser Theil des einen Thieres jenem des andern entspreche. Es ist nicht der gleiche physiologische Gebrauch, denn dasselbe Knochenstück wird bei einem Säugethiere ein winziges, in der Tiefe des Felsenbeins verborgenes Gehörknöchelchen, welches bei einem Vogel zur Einlenkung des Unterkiefers dient, — es ist nicht die Gestalt, nicht die Lage, nicht die Verbindung mit anderen Theilen, welche einen constanten Charakter seiner Identität abgäben. Aber dennoch ist in den meisten Fällen durch Verfolgung der Uebergangsstufen möglich gewesen, mit ziemlicher Sicherheit auszumitteln, welche Theile sich entsprechen. Goethe selbst hat dies Verhältniss sehr richtig eingesehen, er sagt bei Gelegenheit der Wirbeltheorie des Schädels: „Ein dergleichen

Aperçu, ein solches Gewahrwerden, Auffassen, Vorstellen, Begriff, Idee, wie man es nennen mag, behält immerfort, man gebehrde sich, wie man will, eine esoterische Eigenschaft; im Ganzen lässt es sich aussprechen, aber nicht beweisen, im Einzelnen lässt es sich wohl vorzeigen, doch bringt man es nicht rund und fertig." So steht die Sache grösstentheils noch jetzt. Man kann sich den Unterschied noch klarer machen, wenn man überlegt, wie die Physiologie, die Erforscherin des ursächlichen Zusammenhangs der Lebensvorgänge, diese Idee des gemeinsamen Bauplanes der Thiere behandeln müsste. Sie könnte fragen: Ist etwa die Ansicht richtig, wonach während der geologischen Entwickelung der Erde sich eine Thierart aus der andern gebildet habe, und hat sich dabei die Brustflosse des Fisches allmälig in einen Arm oder Flügel verwandelt? Oder sind die verschiedenen Thierarten gleich fertig erschaffen worden, und rührt ihre Aehnlichkeit daher, dass die frühesten Schritte der Entwickelung aus dem Ei bei allen Wirbelthieren nur auf eine einzige, sehr übereinstimmende Weise von der Natur ausgeführt werden können, und sind die späteren Analogien des Baues durch diese ersten gemeinsamen Grundzüge der Entwickelung bedingt? Zu der letztern Ansicht möchte sich die Mehrzahl der Forscher gegenwärtig neigen*), denn die Uebereinstimmung in den früheren Zeiten der Entwickelung ist sehr auffallend. So haben selbst die jungen Säugethiere zeitweise die Anlagen zu Kiemenbögen an den Seiten des Halses, wie die Fische, und es scheinen in der That die sich entsprechenden Theile der erwachsenen Thiere während der Entwickelung auf gleiche Weise zu entstehen, so dass man neuerdings angefangen hat, die Entwickelungsgeschichte als Controle für die theoretischen Ansichten der vergleichenden Anatomie zu gebrauchen. Man sieht, dass durch die angedeuteten physiologischen Ansichten die Idee des gemeinsamen Typus ihre begriffliche Bestimmung und Bedeutung bekommen würde. Goethe hat Grosses geleistet, indem er ahnte, dass ein Gesetz vorhanden sei und die Spuren desselben scharfsichtig verfolgte, aber welches Gesetz da sei, erkannte er nicht und suchte auch nicht danach. Das letztere lag nicht in der Richtung seiner Thätigkeit, und darüber ist selbst bei dem jetzigen Zustande der Wissenschaft noch keine feststehende Ansicht möglich, kaum dass die Art erkannt wird, wie die Fragen zu stellen sein werden. Gern erkennen wir also an, dass Goethe in diesem

*) Dies ist vor Darwin's Buche über den Ursprung der Art geschrieben.

Gebiete Alles geleistet hat, was in seiner Zeit überhaupt zu leisten war. Ich sagte vorher, er stelle sich der Natur wie einem Kunstwerke gegenüber. In seinen morphologischen Studien spielt er dieselbe Rolle, wie der kunstsinnige Hörer einer Tragödie, welcher fein herausfühlt, wie in dieser alles Einzelne zusammengehört, zusammenwirkt, von einem gemeinsamen Plane beherrscht wird, und sich an dieser kunstvollen Planmässigkeit lebhaft erfreut, ohne doch die leitende Idee des Ganzen begriffsmässig entwickeln zu können. Das letztere Geschäft bleibt der wissenschaftlichen Betrachtung des Kunstwerks vorbehalten, und jener ist vielleicht, wie Goethe der Natur gegenüber, kein Freund solcher Zergliederung des Werks, an dem er sich freut, weil er — aber mit Unrecht — fürchtet, seine Freude könne ihm dadurch gestört werden.

Aehnlich ist Goethe's Standpunkt in der Farbenlehre. Wir haben gesehen, dass seine Opposition gegen die physikalische Theorie bei einem Punkte anhebt, wo diese ganz vollständige und consequente Erklärungen aus ihren einmal angenommenen Grundlagen giebt. Er kann offenbar nicht daran Anstoss genommen haben, dass die Theorie in dem einzelnen Falle nicht ausreiche, sondern vielmehr an den Annahmen, die sie zum Zwecke der Erklärung macht, und die ihm so absurd erscheinen, dass er deshalb die gegebene Erklärung als gar keine achtet. Es scheint ihm namentlich der Gedanke undenkbar gewesen zu sein, dass weisses Licht aus farbigem zusammengesetzt werden könne; er schilt schon in jener frühesten Zeit *) auf das ekelhafte Newton'sche Weiss der Physiker, ein Ausdruck, welcher anzudeuten scheint, dass es besonders diese Annahme gewesen sei, welche ihn in jener Erklärung beleidigte.

Auch in seiner spätern Polemik gegen Newton, welche erst herausgegeben wurde, nachdem seine eigene Theorie der Farben vollendet war, geht sein Streben mehr dahin zu zeigen, dass die von Newton angeführten Thatsachen sich auch aus seiner Ansicht erklären liessen, und dass deshalb Newtons Ansicht nicht genügend bewiesen sei, als dass er eigentlich in dieser Widersprüche gegen die Thatsachen oder in sich selbst nachzuweisen suchte. Vielmehr scheint er die Evidenz seiner eigenen Ansicht für so gross zu halten, dass er sie nur vorzuführen brauche, um die Newtons zu vernichten. Es sind nur wenige Stellen, wo er die von Newton beschriebenen Versuche bestreitet. Bei einigen die-

*) Confession am Schluss der Geschichte der Farbenlehre.

ser Versuche *) scheint ihm die Wiederholung deshalb nicht geglückt zu sein, weil nicht bei allen Stellungen der dabei gebrauchten Linsen der Erfolg gleich leicht zu beobachten ist, und ihm die geometrischen Verhältnisse unbekannt waren, durch welche sich die günstigste Stellung der Linsen bestimmt. Bei anderen Versuchen über die Ausscheidung einfachen farbigen Lichtes mit Hülfe blosser Prismen sind Goethe's Einwürfe nicht ganz unrichtig, insofern die Reinigung der isolirten Farben auf diesem Wege wohl schwerlich so weit getrieben werden kann, dass die Brechung in einem andern Prisma nicht noch Spuren einer andern Färbung an den Rändern geben sollte. Eine so vollständige Ausscheidung des einfach farbigen Lichtes lässt sich nur in sehr sorgfältig geordneten, gleichzeitig aus Prismen und Linsen bestehenden Apparaten bewirken, und die Besprechung gerade dieser Versuche, welche Goethe auf einen supplementaren Theil verschoben hatte, ist er schuldig geblieben. Wenn er auf die verwirrende Complication dieser Vorrichtungen schilt, so denke man an die mühsamen Umwege, welche der Chemiker oft nehmen muss, um gewisse einfache Körper rein darzustellen, und man wird sich nicht verwundern dürfen, dass die ähnliche Aufgabe für das Licht nicht unter freiem Himmel, im Garten und mit einem einfachen Prisma in der Hand zu lösen ist **). Goethe muss seiner Theorie gemäss die Möglichkeit, reines farbiges Licht abzuscheiden, gänzlich in Abrede stellen. Ob er jemals mit Apparaten experimentirt hat, welche geeignet waren, diese Aufgabe zu lösen, bleibt zweifelhaft, da eben der versprochene supplementare Theil fehlt.

Um eine Anschauung von der Leidenschaftlichkeit zu geben, mit welcher der sonst so hofmännisch gemässigte Goethe gegen Newton polemisirt, citire ich aus wenigen Seiten des polemischen Theils der Farbenlehre folgende Ausdrücke, mit denen er die Sätze dieses grössten Denkers in dem Gebiete der Physik und Astronomie belegt: — „bis zum Unglaublichen unverschämt“ — „barer Unsinn“ — „fratzenhafte Erklärungsart“ — „höchlich be-

*) Polemischer Theil. §. 47 u. 169.

**) Ich erlaube mir hier noch zu bemerken, dass ich die Unzerlegbarkeit und Unveränderlichkeit des einfachen farbigen Lichtes, diese beiden Grundlagen von Newtons Theorie, nicht blos vom Hörensagen, sondern durch eigenen Augenschein kenne, indem ich in einer meiner eigenen Untersuchungen (Ueber D. Brewsters neue Analyse des Sonnenlichts in Poggendorfs Annalen Bd. 86. S. 501) gezwungen war, die Reinigung des farbigen Lichtes auf die möglichst zu erreichende Spitze zu treiben.

wundernswerth für die Schüler in der Laufbank." — „Aber ich sehe wohl, Lügen bedarf's und über die Maassen."

Goethe bleibt auch in der Farbenlehre seiner oben erwähnten Ansicht getreu, dass die Natur ihre Geheimnisse von selbst darlegen müsse, dass sie die durchsichtige Darstellung ihres ideellen Inhalts sei. Er fordert daher für die Untersuchung physikalischer Gegenstände eine solche Anordnung der beobachteten Thatsachen, dass eine immer die andere erkläre, und man so zur Einsicht in den Zusammenhang komme, ohne das Gebiet der sinnlichen Wahrnehmung zu verlassen. Diese Forderung hat einen sehr bestechenden Schein für sich, ist aber ihrem Wesen nach grundfalsch. Denn eine Naturerscheinung ist physikalisch erst dann vollständig erklärt, wenn man sie bis auf die letzten ihr zu Grunde liegenden und in ihr wirksamen Naturkräfte zurückgeführt hat. Da wir nun die Kräfte nie an sich, sondern nur ihre Wirkungen wahrnehmen können, so müssen wir in jeder Erklärung von Naturerscheinungen das Gebiet der Sinnlichkeit verlassen und zu unwahrnehmbaren, nur durch Begriffe bestimmten Dingen übergehen. Wenn wir einen Ofen warm finden und dann bemerken, dass Feuer darin brennt, so sagen wir allerdings vermöge eines ungenauen Sprachgebrauches, dass durch die zweite Wahrnehmung die erste erklärt werde. Im Grunde heisst das aber doch nichts anderes als: Wir sind immer gewohnt, wo Feuer brennt, auch Wärme zu finden, so auch dieses Mal im Ofen. Wir reihen also unser Factum unter ein allgemeineres, bekannteres ein, beruhigen uns dabei und nennen dies fälschlich eine Erklärung. Die Allgemeinheit dieser Beobachtung führt offenbar noch nicht die Einsicht in die Ursachen mit sich; letztere ergiebt sich erst, wenn wir ermitteln können, welche Kräfte in dem Feuer wirksam sind, und wie die Wirkungen von ihnen abhängen.

Aber dieser Schritt in das Reich der Begriffe, welcher nothwendig gemacht werden muss, wenn wir zu den Ursachen der Naturerscheinungen aufsteigen wollen, schreckt den Dichter zurück. In den Dichtwerken hat er dem geistigen Gehalte derselben die Einkleidung der unmittelbarsten sinnlichen Anschauung gegeben, ohne alle begrifflichen Zwischenglieder. Je grösser hier die sinnliche Lebendigkeit der Anschauung war, desto grösser war sein Ruhm. Er möchte die Natur ebenso angegriffen sehen. Der Physiker dagegen will ihn hinüberführen in eine Welt unsichtbarer Atome, Bewegungen, anziehender und abstossender Kräfte, die in zwar gesetzmässigem, aber kaum zu übersehendem Gewirre durch-

einander arbeiten. Letzterem ist der sinnliche Eindruck keine unumstössliche Autorität, er untersucht die Berechtigung desselben, fragt, ob wirklich das ähnlich, was die Sinne für ähnlich, ob wirklich das verschieden, was sie für verschieden erklären, und kommt häufig zu einer verneinenden Antwort. Das Resultat dieser Prüfung, wie es jetzt vorliegt, ist, dass die Sinnesorgane uns zwar von äussern Einwirkungen benachrichtigen, dieselben aber in ganz veränderter Gestalt zum Bewusstsein bringen, so dass die Art und Weise der sinnlichen Wahrnehmung weniger von den Eigenthümlichkeiten des wahrgenommenen Gegenstandes, als von denen des Sinnesorgans abhängt, durch welches wir die Nachricht bekommen. Alles, was uns der Sehnerv berichtet, berichtet er unter dem Bilde einer Lichtempfindung, sei es nun die Strahlung der Sonne, oder ein Stoss auf das Auge, oder ein elektrischer Strom im Auge. Der Hörnerv verwandelt wiederum Alles in Schallphänomene, der Hautnerv in Temperatur- oder Tastempfindungen. Derselbe elektrische Strom, dessen Dasein der Sehnerv als einen Lichtschein, der Geschmacksnerv als Säure berichtet, erregt im Hautnerven das Gefühl des Brennens. Denselben Sonnenstrahl, den wir Licht nennen, wenn er in das Auge fällt, nennen wir Wärme, wenn er die Haut trifft. Objectiv dagegen ist das Tageslicht, welches in unsere Fenster eindringt, und die Wärmestrahlung eines eisernen Ofens nicht mehr und nicht anders von einander unterschieden, als es die rothen und blauen Bestandtheile des Lichtes unter sich sind, d. h. wie sich die rothen von den blauen Strahlen nach der Undulationstheorie durch grössere Schwingungsdauer und geringere Brechbarkeit unterscheiden, so haben die dunklen Wärmestrahlen des Ofens eine noch grössere Schwingungsdauer und noch geringere Brechbarkeit als die rothen Lichtstrahlen, sind ihnen aber in jeder andern Beziehung vollkommen ähnlich. Alle diese Strahlen, leuchtende und nicht leuchtende, wärmen, aber nur ein gewisser Theil derselben, den wir eben deshalb mit dem Namen Licht belegen, kann durch die durchsichtigen Theile unseres Auges bis zum Sehnerven dringen und Lichtempfindung erregen. Wir können das Verhältniss vielleicht am passendsten so bezeichnen: Die Sinnesempfindungen sind uns nur Symbole für die Gegenstände der Aussenwelt und entsprechen diesen etwa so, wie der Schriftzug oder Wortlaut dem dadurch bezeichneten Dinge. Sie geben uns zwar Nachricht von den Eigenthümlichkeiten der Aussenwelt, aber nicht bessere, als wir einem Blinden durch Wortbeschreibungen von der Farbe geben.

Wir sehen, dass die Wissenschaft zu einer ganz entgegengesetzten Schätzung der Sinnlichkeit gelangt ist, als sie der Dichter in sich trug, und zwar war Newtons Behauptung, Weiss sei aus allen Farben des Spectrum zusammengesetzt, der erste Keim dieser erst später sich entwickelnden Ansicht. Denn zu jener Zeit fehlten noch die galvanischen Beobachtungen, welche den Weg zur Kenntniss der Rolle eröffneten, die die Eigenthümlichkeit der Sinnesnerven bei den Sinnesempfindungen spielt. Weiss, welches dem Auge als der einfachste, reinste aller Farbeneindrücke erscheint, sollte aus dem unreineren Mannigfaltigen zusammengesetzt sein. Hier scheint der Dichter mit schneller Vorahnung gefühlt zu haben, dass durch die Consequenzen dieses Satzes sein ganzes Princip in Frage komme, und deshalb erscheint ihm diese Annahme so undenkbar, so namenlos absurd. Seine Farbenlehre müssen wir als den Versuch betrachten, die unmittelbare Wahrheit des sinnlichen Eindrucks gegen die Angriffe der Wissenschaft zu retten. Daher der Eifer, mit dem er sie auszubilden und zu vertheidigen strebt, die leidenschaftliche Gereiztheit, mit der er die Gegner angreift, die überwiegende Wichtigkeit, welche er ihr vor allen seinen anderen Werken zuschreibt, und die Unmöglichkeit der Ueberzeugung und Versöhnung.

Wenden wir uns nun zu seinen eigenen theoretischen Vorstellungen, so ergiebt sich schon aus dem Vorigen, dass Goethe keine Erklärung der Erscheinungen geben kann, welche im physikalischen Sinne eine wäre, ohne seinem Principe untreu zu werden, und so finden wir es wirklich. Er geht davon aus, dass die Farben stets dunkler als das Weiss sind, dass sie etwas Schattiges haben (nach der physikalischen Theorie: weil Weiss, die Summe alles farbigen Lichtes, heller sein muss als jeder seiner einzelnen Theile). Directe Mischung von Licht und Dunkel, von Weiss und Schwarz giebt Grau; die Farben müssen also durch eine andere Art der Zusammenwirkung von Licht und Schatten entstanden sein. Diese glaubt Goethe in den Erscheinungen schwach getrübter Medien zu finden. Solche sehen in der Regel blau aus, wenn sie selbst vom Lichte getroffen vor einem dunklen Grunde gesehen werden, gelb dagegen, wenn man durch sie einen hellen Gegenstand sieht. So erscheint die Luft bei Tage vor dem dunklen Himmelsgrunde blau, und die Sonne, beim Untergange durch eine lange trübe Luftschicht gesehen, gelb oder gelbroth. Die physikalische Erklärung dieses Phänomens, was sich jedoch nicht an allen trüben Körpern zeigt, z. B. nicht an mattgeschliffenen

Glasplatten, würde uns hier zu weit von unserem Wege abführen. Durch das trübe Mittel soll nach Goethe dem Lichte etwas Körperliches, Schattiges gegeben werden, wie es zum Entstehen der Farbe nothwendig sei. Schon bei dieser Vorstellung geräth man in Verlegenheit, wenn man sie als eine physikalische Erklärung betrachten will. Sollen sich etwa körperliche Theile dem Lichte zumischen und mit ihm davonfliegen? Auf dieses sein Urphänomen sucht Goethe alle übrigen Farbenerscheinungen zurückzuführen, namentlich die prismatischen. Er betrachtet alle durchsichtigen Körper als schwach trübe und nimmt an, dass das Prisma dem Bilde, welches es dem Beobachter zeigt, von seiner Trübung etwas mittheile. Hierbei ist es wieder schwer, sich etwas Bestimmtes zu denken. Goethe scheint gemeint zu haben, dass das Prisma nie ganz scharfe Bilder entwirft, sondern undeutliche, verwaschene, denn in der Farbenlehre reihet er sie an die Nebenbilder an, welche parallele Glasplatten und Krystalle von Kalkspath zeigen. Verwaschen sind die Bilder des Prisma allerdings im zusammengesetzten Lichte, vollkommen scharf dagegen im einfachen. Betrachte man, meint er, durch das Prisma eine helle Fläche auf dunklem Grunde, so werde das Bild vom Prisma verschoben und getrübt. Der vorangehende Rand desselben werde über den dunklen Grund hinübergeschoben, und erscheine als helles Trübes vor Dunklem blau, der hinterher folgende Rand der hellen Fläche werde aber von dem vorgeschobenen trüben Bilde des darnach folgenden schwarzen Grundes überdeckt und erscheine als ein Helles hinter einem dunklen Trüben gelbroth. Warum der vorgeschobene Rand vor dem Grunde, der nachbleibende hinter demselben erscheine, und nicht umgekehrt, erklärt er nicht. Man analysire aber diese Vorstellung weiter und mache sich den Begriff des optischen Bildes klar. Wenn ich einen hellen Gegenstand in einem Spiegel abgebildet sehe, so geschieht dies deshalb, weil das Licht, welches von jenem ausgeht, von dem Spiegel gerade so zurückgeworfen wird, als käme es von einem Gegenstande gleicher Art hinter dem Spiegel her, den das Auge des Beobachters demgemäss abbildet, und den der Beobachter deshalb wirklich zu sehen glaubt. Jedermann weiss, dass hinter dem Spiegel nichts Wirkliches dem Bilde entspricht, dass auch nicht einmal etwas von dem Lichte dort hindringt, sondern das Spiegelbild ist nichts als der geometrische Ort, in welchem die gespiegelten Strahlen rückwärts verlängert sich schneiden. Deshalb erwartet auch Niemand, dass das Bild hinter dem Spiegel irgend eine reelle Wirkung

ausüben solle. Ebenso zeigt uns das Prisma Bilder der gesehenen Gegenstände, welche eine andere Stelle als diese Gegenstände selbst haben. Das heisst, das Licht, welches der Gegenstand nach dem Prisma sendet, wird von diesem so gebrochen, als käme es von einem seitlich liegenden Gegenstande, dem Bilde, her. Dieses Bild ist nun wieder nichts Reelles, sondern es ist wiederum nur der geometrische Ort, in welchem sich rückwärts verlängert die Lichtstrahlen schneiden. Und doch soll bei Goethe dieses Bild durch seine Verschiebung reelle Wirkungen hervorbringen. Das verschobene Helle soll wie ein trüber Körper das dahinter scheinende Dunkle blau erscheinen lassen, das verschobene Dunkle das dahinter liegende Helle rothgelb. Dass Goethe hier ganz eigentlich das Bild in seiner scheinbaren Oertlichkeit als Gegenstand behandelt, zeigt sich auch namentlich darin, dass er in seiner Erklärung annehmen muss, der blaue Rand des hellen Feldes liege örtlich vor, der rothe hinter dem mitverschobenen dunklen Bilde. Goethe bleibt hier dem sinnlichen Scheine getreu und behandelt einen geometrischen Ort als körperlichen Gegenstand. Ebenso wenig nimmt er daran Anstoss, Roth und Blau sich zuweilen gegenseitig zerstören zu lassen, z. B. in dem prismatischen blauen Rande eines rothen Feldes, in andern Fällen dagegen daraus eine schöne Purpurfarbe zusammen zu setzen, wenn sich z. B. die blauen und rothen Ränder über einem schwarzen Felde begegnen. Noch wunderlicher sind die Wege, wie er sich aus den Verlegenheiten zieht, welche ihm Newtons zusammengesetztere Versuche bereiten. So lange man seine Erklärungen als bildliche Versinnlichungen der Vorgänge gelten lässt, kann man ihnen beistimmen, ja sie haben oft etwas sehr Anschauliches und Bezeichnendes, als physikalische Erklärungen dagegen würden sie sinnlos sein.

Dass der theoretische Theil der Farbenlehre keine Physik sei, wird hiernach Jedem einleuchten, und man kann auch einigermaassen einsehen, dass der Dichter eine ganz andere Betrachtungsweise, als die physikalische, in die Naturforschung einführen wollte, und wie er dazu kam. In der Dichtung kommt es ihm nur auf den „schönen Schein" an, der das Ideale zur Anschauung bringt; wie dieser Schein zu Stande komme, ist gleichgültig. Auch die Natur ist dem Dichter sinnbildlicher Ausdruck des Geistigen. Die Physik sucht dagegen die Hebel, Stricke und Rollen zu entdecken, welche hinter den Coulissen arbeitend diese regieren, und der Anblick des Mechanismus zerstört freilich den schönen Schein. Deshalb möchte der Dichter gern die Stricke und Rollen hinweg-

läugnen, für die Ausgeburten pedantischer Köpfe erklären und die Sache so darstellen, als veränderten die Coulissen sich selbst oder würden durch die Idee des Kunstwerks regiert. Auch liegt es in Goethe's ganzer Richtung, dass gerade er unter allen Dichtern gegen die Physik polemisch auftreten musste. Andere Dichter, je nach der Eigenthümlichkeit ihres Talents, achten entweder in der leidenschaftlichen Macht ihrer Begeisterung nicht auf das störende Materielle, oder sie erfreuen sich daran, wie auch in ihm trotz seines Widerstrebens sich der Geist Wege bahnt. Goethe, nie durch eine subjective Erregung über die umgebende Wirklichkeit geblendet, kann sich nur da behaglich verweilen, wo er die Wirklichkeit selbst vollständig poetisch gestempelt hat. Darin liegt die eigenthümliche Schönheit seiner Dichtungen, und darin liegt auch gleichzeitig der Grund, warum er gegen den Mechanismus, der ihn jeden Augenblick in seinem poetischen Behagen zu stören droht, kämpfend auftreten muss und den Feind in seinem eigenen Lager anzugreifen sucht.

Wir können aber den Mechanismus der Materie nicht dadurch besiegen, dass wir ihn wegläugnen, sondern nur dadurch, dass wir ihn den Zwecken des sittlichen Geistes unterwerfen. Wir müssen seine Hebel und Stricke kennen lernen, wenn es auch die dichterische Naturbetrachtung stören sollte, um sie nach unserem eigenen Willen regieren zu können, und darin liegt die grosse Bedeutung der physikalischen Forschung für die Cultur des Menschengeschlechtes und ihre volle Berechtigung gegründet.

Aus dem Dargestellten wird es klar sein, dass allerdings Goethe in seinen verschiedenen naturwissenschaftlichen Arbeiten die gleiche Richtung geistiger Thätigkeit verfolgt hat, dass aber die Aufgaben sehr entgegengesetzter Art waren, und wenn man einsieht, dass gerade dieselbe Eigenthümlichkeit, welche ihn in dem einen Felde zu glänzendem Ruhme emportrug, es war, die sein Scheitern in dem andern bedingte, so wird man vielleicht geneigter werden, den Verdacht gegen die Physiker schwinden zu lassen, welchen gewiss noch mancher der Verehrer des grossen Dichters hegt, als könnten sie doch wohl in verstocktem Zunftstolze für die Inspirationen des Genius sich blind gemacht haben.

ÜBER DIE

PHYSIOLOGISCHEN URSACHEN

DER

MUSIKALISCHEN HARMONIE.

Vorlesung

gehalten in

Bonn im Winter 1857.

Hochgeehrte Versammlung!

In der Vaterstadt Beethovens, des gewaltigsten unter den Heroen der Tonkunst, schien mir kein Gegenstand zur Besprechung in einem grösseren Kreise geeigneter als die Musik. Ich will daher, der Richtung folgend, die meine Arbeiten in der letzten Zeit genommen haben, versuchen, Ihnen auseinander zu setzen, was Physik und Physiologie über die geliebteste Kunst des Rheinlandes, über Musik und musikalische Verhältnisse zu sagen wissen. Die Musik hat sich bisher mehr als jede andere Kunst der wissenschaftlichen Behandlung entzogen. Dichtkunst, Malerei und Bildhauerei entnehmen wenigstens das Material für ihre Schilderungen aus der Welt der Erfahrung, sie stellen Natur und Menschen dar. Nicht blos kann nun dieses ihr Material auf seine Richtigkeit und Naturwahrheit kritisch untersucht werden, sondern sogar in der Erforschung der Gründe für das ästhetische Wohlgefallen, welches die Werke dieser Künste erregen, hat die wissenschaftliche Kunstkritik, wenn auch enthusiastische Seelen ihr dazu oft die Berechtigung bestreiten, doch manche Fortschritte gemacht. In der Musik dagegen behalten, wie es scheint, vorläufig noch diejenigen Recht, welche die kritische „Zergliederung ihrer Freuden" von sich weisen. Diese Kunst, die ihr Material nicht aus der sinnlichen Erfahrung nimmt, die nicht die Aussenwelt zu beschreiben, nur ausnahmsweise sie nachzuahmen sucht, entzieht dadurch der wissenschaftlichen Betrachtung die meisten Angriffspunkte, die die anderen Künste darbieten, und erscheint daher in ihren Wirkungen ebenso unbegreiflich und wunderbar, wie sie mächtig ist. Wir müssen und wollen uns deshalb vorläufig auf die Betrachtung ihres künstlerischen Materials, der Töne oder Tonempfindungen, beschränken. Es hat mich immer als ein wunderbares und be-

sonders interessantes Geheimniss angezogen, dass gerade in der Lehre von den Tönen, in den physikalischen und technischen Fundamenten der Musik, die unter allen Künsten in ihrer Wirkung auf das Gemüth als die stoffloseste, flüchtigste und zarteste Urheberinn unberechenbarer und unbeschreiblicher Stimmungen erscheint, sich die Wissenschaft des reinsten und consequentesten Denkens, die Mathematik so fruchtbar erwies. Der Generalbass ist ja eine Art angewandter Mathematik; in der Abtheilung der Tonintervalle, der Tacttheile u. s. w. spielen die Verhältnisse ganzer Zahlen, — zuweilen sogar Logarithmen — eine hervorragende Rolle. Mathematik und Musik, der schärfste Gegensatz geistiger Thätigkeit, den man auffinden kann, und doch verbunden, sich unterstützend, als wollten sie die geheime Consequenz nachweisen, die sich durch alle Thätigkeiten unseres Geistes hinzieht und die uns auch in den Offenbarungen des künstlerischen Genius unbewusste Aeusserungen geheimnissvoll wirkender Vernunftmässigkeit ahnen lässt.

Indem ich die physikalische Akustik vom physiologischen Standpunkte aus betrachtete, d. h. näher der Rolle nachging, welche dem Ohr in der Wahrnehmung der Töne zuertheilt ist, schien sich manches in seinem Zusammenhange klarer darzustellen, und so will ich denn versuchen, ob ich Ihnen einiges von dem Interesse mittheilen kann, welches diese Fragen in mir erregt haben, indem ich Ihnen einige Ergebnisse der physikalischen und physiologischen Akustik anschaulich zu machen suche.

Die Kürze der zugemessenen Zeit fordert, dass ich mich auf einen Hauptpunkt beschränke; ich will aber den wichtigsten von allen herausgreifen, an welchem Sie am besten erkennen werden, welche Bedeutung und Ergebnisse wissenschaftliche Untersuchungen in diesem Gebiete haben können, nämlich die Frage nach dem Grunde der Consonanz. Thatsächlich steht fest, dass die Schwingungszahlen consonanter Töne zu einander immer im Verhältnisse kleiner ganzer Zahlen stehen. Aber warum? Was haben die Verhältnisse der kleinen ganzen Zahlen mit der Consonanz zu thun? Es ist dies eine alte Räthselfrage, die schon Pythagoras der Menschheit aufgegeben hat, und die bisher ungelöst geblieben ist. Sehen wir zu, ob wir sie mit den Hülfsmitteln der modernen Wissenschaft beantworten können.

Zuerst, was ist ein Ton? Schon die gemeine Erfahrung lehrt uns, dass alle tönenden Körper in Zitterungen begriffen sind. Wir sehen und fühlen dies Zittern, und bei starken Tönen fühlen wir,

selbst ohne den tönenden Körper zu berühren, das Schwirren der uns umgebenden Luft. Specieller zeigt die Physik, dass jede Reihe von hinreichend schnell sich wiederholenden Stössen, welche die Luft in Schwingung versetzt, in dieser einen Ton erzeugt.

Musikalisch wird der Ton, wenn die schnellen Stösse in ganz regelmässiger Weise und in genau gleichen Zeiten sich wiederholen, während unregelmässige Erschütterungen der Luft nur Geräusche geben. Die Höhe eines musikalischen Tons hängt von der Zahl solcher Stösse ab, die in gleicher Zeit erfolgen; je mehr Stösse in derselben Zeit, desto höher der Ton. Dabei stellt sich, wie bemerkt, ein enger Zusammenhang zwischen den bekannten harmonischen, musikalischen Intervallen und der Zahl der Luftschwingungen heraus. Wenn bei einem Tone zweimal so viel Schwingungen in derselben Zeit geschehen wie bei einem anderen, so ist er die höhere Octave dieses anderen. Ist das Verhältniss der Schwingungen in gleicher Zeit 2 : 3, so bilden beide Töne eine Quinte, ist es 4 : 5, so bilden sie eine grosse Terz.

Wenn Sie sich merken, dass die Anzahl der Schwingungen bei den Tönen des Duraccords *C E G C* im Verhältniss der Zahlen 4 : 5 : 6 : 8 steht, so können Sie daraus alle anderen Tonverhältnisse herleiten, indem Sie über jeden der genannten Töne sich einen neuen Duraccord gebaut denken, der dieselben Schwingungsverhältnisse zeigt. Die Zahl der Schwingungen ist, wie sich bei einer nach dieser Regel angestellten Berechnung ergiebt, innerhalb des Gebietes der hörbaren Töne ausserordentlich verschieden. Da die höhere Octave eines Tones zweimal so viel Schwingungen macht als ihr Grundton, so macht die zweit höhere 4 mal, die dritte 8 mal so viel. Unsere neueren Pianofortes umfassen 7 Octaven; ihr höchster Ton macht deshalb 128 Schwingungen in derselben Zeit, wo ihr tiefster eine Schwingung vollführt.

Das tiefste C_1 was unsere Claviere zu haben pflegen, und welches die sechszehnfüssigen offenen Pfeifen der Orgel geben, — die Musiker nennen es das Contra-*C* — macht 33 Schwingungen in der Secunde. Wir nähern uns bei ihm schon den Gränzen des Hörens. Sie werden auf dem Pianoforte bemerkt haben, dass diese Töne einen dumpfen, schlechten Klang haben, man kann ihre musikalische Höhe, die Reinheit ihrer Stimmung nicht mehr so leicht ganz scharf beurtheilen. Auf der Orgel ist das Contra-*C* etwas kräftiger als das der Saiten, aber auch hier fühlt sich das Ohr über die musikalische Höhe des Tons unsicher. Auf den grösseren Orgeln findet sich noch eine ganze Octave unter diesem

Contra-*C*, bis zu einer 32füssigen Pfeife, die das nächst tiefere *C* von $16^1/_2$ Schwingungen in der Secunde giebt; aber das Ohr empfindet diese Töne kaum noch als etwas anderes, denn als ein dumpfes Dröhnen, und je tiefer sie sind, desto deutlicher unterscheidet es schon die einzelnen Luftstösse in ihnen. Sie werden deshalb musikalisch auch immer nur zur Verstärkung der Töne der nächst höheren Octave gebraucht, denen sie den Eindruck grösserer Tiefe geben.

Mit Ausnahme der Orgel finden die übrigen musikalischen Instrumente die Gränze ihrer Tiefe alle, so verschiedene Mittel zur Tonerzeugung sie auch anwenden, ungefähr in derselben Gegend der Tonleiter wie das Clavier, nicht weil es unmöglich wäre, langsamere Luftstösse von ausreichender Kraft hervorzubringen, sondern weil das Ohr seinen Dienst versagt und langsamere Stösse eben nur als einzelne Stösse empfindet, nicht zu einem Tone zusammenfasst.

Die oft wiederholte Angabe des französischen Physikers Savart, dass er an einem besonders construirten Instrumente Töne von acht Schwingungen in der Secunde gehört habe, scheint auf einem Irrthume zu beruhen.

Nach der Höhe hin giebt man den Pianoforte's wohl einen Umfang bis zur 7. Octave des Contra-*C*, dem sogenannten fünfgestrichenen *c* von 4224 Schwingungen in der Secunde. Von den Orchesterinstrumenten könnte nur die Piccolflöte ebenso hoch, oder noch einen Ton höher gehen. Die Violine pflegt nur bis zu dem zunächst darunter liegenden *E* von 2640 Schwingungen in der Secunde gebraucht zu werden, abgesehen von den Kraftleistungen himmelstürmerischer Virtuosen, welche hier gern Motive suchen, um ihren Hörern neues und unerhörtes Herzweh zu bereiten. Solchen winken übrigens über dem fünfgestrichenen *C* noch drei ganze Octaven hörbarer und den Ohren höchst schmerzhafter Töne entgegen, wie Despretz nachgewiesen hat, der mittels kleiner, mit dem Violinbogen gestrichener Stimmgabeln das achtgestrichene *C* von 32770 Schwingungen in der Secunde erreichen und hören konnte. Dort erst schien die Tonempfindung ihre Gränze zu erreichen, und auch hier waren in den letzten Octaven die Intervalle nicht mehr zu unterscheiden.

Die musikalische Höhe des Tons hängt nur von der Zahl der Luftschwingungen in der Secunde ab, nicht von der Art, wie sie hervorgebracht werden. Es ist gleichgültig, ob es durch die schwingenden Saiten des Claviers und der Violine, durch die

Stimmbänder des menschlichen Kehlkopfs, durch die Metallzungen der Harmonica, die Rohrzungen der Clarinette, Oboe und des Fagotts, durch die Schwingung der Lippen des Blasenden im Mundstück der Blechinstrumente, oder durch die Brechung der Luft an den scharfen Lippen der Orgelpfeifen und Flöten geschieht.

Ein Ton von gleicher Schwingungszahl ist immer gleich hoch, von welchem dieser Instrumente er auch hervorgebracht werden mag. Was übrigens nun noch die Note *A* des Claviers von der gleichen Note *A* der Violine, Flöte, Clarinette, Trompete unterscheidet, nennt man die Klangfarbe, auf die wir später noch zurückkommen.

Als ein interessantes Beispiel zur Erläuterung der hier vorgetragenen Sätze erlaube ich mir Ihnen ein eigenthümliches physikalisches Tonwerkzeug vorzuführen, nämlich die sogenannte Sirene, Fig. 1, welches besonders geeignet ist, alles was von den Verhältnissen der Schwingungszahlen abhängt, festzustellen.

Um Töne durch dieses Instrument hervorzubringen, werden die Zuleitungsröhren g_0 und g_1 durch Schläuche mit einem Blasebalge verbunden; die Luft tritt dann in die runden Messingkästen a_0 und a_1 und durch die durchlöcherten Deckel dieser Kästen bei c_0 und c_1 wieder heraus. Die Löcher für die austretende Luft sind aber nicht ganz frei durchgängig, sondern unmittelbar vor den Deckeln der beiden Kästen befinden sich noch zwei ebenso durchlöcherte Scheiben, die an einer sehr leicht laufenden senkrechten Axe *k* befestigt sind. In der Figur sieht man bei c_0 nur die durchlöcherte Scheibe, unmittelbar unter ihr liegt die ebenso durchlöcherte Deckelplatte des Kastens. Am oberen Kasten bei c_1 sieht man nur den Rand der Scheibe. Wenn nun die Löcher der Scheibe gerade vor den Löchern des Deckels stehen, dann kann die Luft frei austreten. Wenn aber die Scheibe gedreht wird, so dass undurchbrochene Stellen der Scheibe vor den Löchern des Kastens stehen, so kann die Luft nicht heraus. Lassen wir nun die Scheiben schnell umlaufen, so wechselt fortdauernd Oeffnung und Schliessung der Ausflusslöcher des Kastens; während der Oeffnung tritt Luft aus, während der Schliessung wird sie zurückgehalten, und so zerfällt der continuirliche Luftstrom des Blasebalgs mittels dieser Vorrichtung in eine Reihe von abgebrochenen Luftstössen, welche, wenn sie schnell genug auf einander folgen, sich zu einem Tone an einander reihen.

Jede von den drehbaren Scheiben dieses Instrumentes, welches complicirter gebaut ist als die bisherigen Instrumente ähnlicher Art und desbalb eine viel grössere Zahl von Toncombinationen erlaubt, hat vier Löcherreihen, die untere mit 8, 10, 12, 18, die obere mit 9, 12, 15 und 16 Löchern. Die Löcherreihen in den Deckelplatten der Windkästen sind denen in den Scheiben ganz gleich; unter jeder von ihnen befindet sich aber noch ein ebenfalls durchlöcherter Ring, den man mittels der Stifte *i i i i* entweder so stellen kann, dass die betreffende Löcherreihe der Deckelplatte frei mit dem Innern des Kastens communicirt, oder abgeschlossen wird. Man kann also jede beliebige von den acht Löcherreihen des Instruments einzeln,

oder je zwei und je drei zusammen anblasen in willkührlicher Combination, indem man die Stifte *i i* beliebig verstellt.

Fig. 1.



Die runden Kästen h_0 h_0 und h_1 h_1, die in der Figur nur halb gezeichnet sind, dienen dazu, durch ihre Resonanz den scharfen Ton milder und weicher zu machen.

Die Löcher in den Kästen und Scheiben sind schief eingebohrt, was zur Folge hat, dass, wenn man Luft in die Kästen eintreibt und eine oder einige Löcherreihen öffnet, der Luftstrom selbst die Scheiben herumtreibt und in immer schnellere und schnellere Bewegung setzt.

Wenn man das Instrument anzublasen beginnt, hört man zuerst die einzelnen Luftstösse, welche puffend hervorbrechen, so oft die Löcher der Scheibe vor denen des Kastens vorbeipassiren. Diese Luftstösse folgen sich immer schneller und schneller, je mehr die Geschwindigkeit der drehenden Scheiben wächst, etwa wie die Dampfstösse einer Locomotive, die sich mit dem Eisenbahnzuge in Bewegung setzt; sie bringen dann zunächst ein Schwirren und Zittern hervor, welches immer hastiger und hastiger wird. Endlich entsteht ein dumpfer dröhnender Ton, der bei immer steigender Geschwindigkeit der Scheiben allmälig an Höhe und Stärke zunimmt.

Nehmen wir an, wir hätten endlich die Scheiben in solche Geschwindigkeit versetzt, dass sie 33 Mal in der Secunde umlaufen, und wir hätten die Reihe mit acht Löchern geöffnet. Bei jeder einzelnen Umdrehung der Scheibe laufen alle acht Löcher dieser Reihe vor jedem einzelnen Loch des Kastens vorbei; also 8 Mal bei jeder einzelnen Umdrehung bricht ein Luftstrom aus dem Kasten hervor, und 8mal 33 oder 264 Luftstösse haben wir in der Secunde; das giebt uns das eingestrichene *c* unserer musikalischen Scala. Oeffnen wir dagegen die Reihe mit 16 Löchern, so haben wir doppelt so viel, nämlich 16mal 33 oder 528 Schwingungen in der Secunde, und wir hören genau die höhere Octave jenes ersten *c'*, nämlich das zweigestrichene *c''*. Oeffnen wir gleichzeitig die beiden Reihen von 8 und von 16 Löchern, so haben wir beide *c* zugleich und können uns überzeugen, dass wir den absolut reinen Zusammenklang einer Octave haben. Nehmen wir 8 und 12 Löcher, die das Verhältniss der Schwingungszahlen 2 zu 3 ergeben, so giebt dieser Zusammenklang eine reine Quinte; 12 und 16, oder 9 und 12 geben Quarten, 12 und 15 geben eine grosse Terz und so weiter.

Nun ist an dem Instrument aber auch noch eine Vorrichtung angebracht, um die Töne des oberen Kastens etwas höher oder niedriger zu machen. Dieser Kasten ist nämlich um seine Axe drehbar und mit einem Zahnrade verbunden, in den der an der Kurbel *d* befestigte Trieb eingreift. Dreht man nun die Kurbel langsam um, während eine Löcherreihe des oberen Kastens angeblasen wird, so wird der Ton etwas höher oder tiefer, je nachdem die Löcher des Kastens denen der Scheibe entgegengehen, oder in gleicher Richtung nachfolgen. Wenn sie entgegengehen, treffen sie schneller mit der nächstfolgenden Oeffnung der Scheibe zusammen, die Schwingungsdauer des Tons wird verkürzt, er wird höher. Das Umgekehrte geschieht, wenn sie nachfolgen.

Bläst man nun unten durch 8, oben durch 16 Löcher, so hat man eine reine Octave, so lange der obere Kasten stillsteht; so wie man ihn bewegt und dadurch die Höhe des oberen Tons etwas verändert, wird die Octave unrein.

Bläst man oben die Reihe von 12, unten die von 18 an, so hat man

eine reine Quinte, so lange der obere Kasten stillsteht, so wie man ihn bewegt, wird der Zusammenklang merklich schlechter.

Diese Versuche mit der Sirene lehren uns also:

1. eine Reihe von Luftstössen, die hinreichend schnell auf einander folgen, geben einen Ton.

2. Je schneller sie auf einander folgen, desto höher wird der Ton.

3. Wenn das Verhältniss der Schwingungszahlen genau wie 1 zu 2 ist, so geben sie eine reine Octave; wenn es 2 zu 3 ist, eine reine Quinte, wenn es 3 zu 4 ist, eine reine Quarte u. s. w. Jede kleinste Veränderung dieser Verhältnisse beeinträchtigt die Reinheit der Consonanz.

Aus dem bisher Angeführten ersehen Sie, dass unser Ohr von Erschütterungen der Luft afficirt wird, deren Zahl in der Secunde innerhalb gewisser Gränzen liegt, nämlich zwischen etwa 20 und 32000, und dass in Folge dieser Affection die Empfindung eines Tones entsteht.

Dass diese Empfindung eben eine Tonempfindung ist, beruht nicht auf der besonderen Art jener Lufterschütterungen, sondern nur in der besonderen Empfindungsweise unseres Ohrs und unseres Hörnerven. Ich bemerkte schon vorher, dass wir das Zittern der Luft bei starken Tönen auch mit der Haut fühlen. So können auch Taubstumme die Luftbewegung, welche wir Schall nennen, wahrnehmen; aber sie hören sie nicht, d. h. sie haben dabei keine Tonempfindung im Ohr, sondern sie fühlen sie durch die Hautnerven, und zwar in deren besonderer Empfindungsweise, als Schwirren. Auch die Gränzen der Schwingungsdauer, innerhalb deren das Ohr die Luftzitterung als Schall empfindet, hängen von der Eigenthümlichkeit des Ohres ab.

Wenn die Sirene langsam umläuft, und die Luftstösse deshalb langsam erfolgen, hören Sie noch keinen Ton. Wenn sie schneller und schneller läuft, wird dadurch in der Art der Lufterschütterungen nichts Wesentliches geändert; ausserhalb des Ohres kommt dabei nichts Neues hinzu, sondern, was neu hinzukommt, ist nur die Empfindung des Ohres, welches nun erst anfängt von den Lufterschütterungen afficirt zu werden, und eben deshalb geben wir den schnelleren Luftzitterungen einen neuen Namen und nennen sie Schall. Wenn Sie Paradoxen lieben, können Sie sagen, die Luftzitterung wird zum Schalle, erst wenn sie das hörende Ohr trifft.

Ich muss Ihnen jetzt weiter die Ausbreitung des Schalls durch den Luftraum beschreiben. Die Bewegung der Luftmasse, wenn ein Ton durch sie hineilt, gehört zu den sogenannten Wellenbewegungen, einer in der Physik sehr wichtigen Classe von Bewe-

gungen. Denn ausser dem Schalle ist auch das Licht eine Bewegung derselben Art.

Der Namen ist vom Vergleich mit den Wellen der Oberfläche unserer Gewässer hergeleitet, und wir werden an ihnen auch die Eigenthümlichkeiten einer solchen Bewegung uns am leichtesten anschaulich machen können.

Wenn wir einen Punkt einer ruhenden Wasserfläche in Erschütterung versetzen, z. B. einen Stein hineinwerfen, so pflanzt sich die Bewegung, welche wir hervorgerufen haben, in Form kreisförmig sich verbreitender Wellen über die Oberfläche des Wassers fort. Der Wellenkreis wird immer grösser und grösser, während an dem ursprünglich getroffenen Punkte schon wieder Ruhe hergestellt ist; dabei werden die Wellen immer niedriger, je mehr sie sich von ihrem Mittelpunkte entfernen, und verschwinden allmälig. Wir unterscheiden an einem solchen Wellenzuge hervorragende Theile, die Wellenberge, und eingesenkte, die Wellenthäler. Einen Wellenberg und ein Thal zusammengenommen nennen wir eine Welle, und deren Länge messen wir vom Gipfel eines Wellenberges bis zum nächsten.

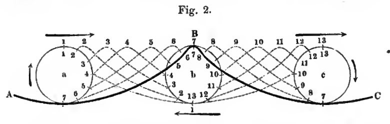
Während die Welle über die Oberfläche der Flüssigkeit hinläuft, bewegen sich nicht etwa die Wassertheilchen, aus denen sie besteht, mit ihr fort. Wir können das leicht erkennen, wenn ein Hälmchen auf dem Wasser schwimmt. Die Wellen, welche es erreichen, heben es und senken es, aber wenn sie vorübergezogen sind, ist das Hälmchen kaum merklich von seiner Stelle gerückt.

Ein schwimmendes leichtes Körperchen macht aber durchaus nur die Bewegungen mit, welche die benachbarten Wassertheilchen machen. Wir schliessen daraus, dass auch diese nicht der Welle gefolgt, sondern nach einigem Hin- und Herschwanken an ihrem ersten Platze geblieben sind. Was sich also als Welle fortbewegt, sind nicht die Wassertheilchen selbst, sondern es ist nur eine Form der Oberfläche, die sich fort und fort aus neuen Wassertheilchen aufbaut. Die Bahnen der einzelnen Wassertheilchen sind vielmehr in sich geschlossene senkrecht stehende Kreisbahnen, in denen sie fortdauernd mit nahe gleichförmiger Geschwindigkeit umlaufen, so lange Wellen über sie weggehen.

In Fig. 2 bezeichnet die starke Wellenlinie *A B C* einen Querschnitt der Wasseroberfläche, über welche Wellen hinlaufen, in Richtung der beiden Pfeile über *a* und *c*. Die drei Kreise *a*, *b* und *c* bezeichnen die Bahnen gewisser Wassertheilchen der Wellenoberfläche, und zwar befindet sich das im Kreise *b* umlaufende Theilchen zur Zeit, wo die Wasserfläche die

Gestalt *A B C* hat, in *B*, im höchsten Punkte seiner Bahn, die Theilchen, die in den Kreisen *a* und *c* umlaufen, dagegen gleichzeitig in den tiefsten Punkten.

Fig. 2.



Die betreffenden Wassertheilchen laufen in diesen Kreisen in der Richtung um, welche die Pfeile andeuten. Die punktirten Curven bezeichnen andere Lagen der sich fortbewegenden Wellen, welche der Lage *A B C* in gleichen Zwischenzeiten theils vorausgegangen (wie die Gipfel zwischen *a* und *b*), theils nachgefolgt (die Gipfel zwischen *b* und *c*) sind. Die Lagen der Wellenberge selbst sind mit Ziffern versehen; die gleichen Ziffern in den Kreisen zeigen an, wo sich zur Zeit der betreffenden Lage der Welle die in diesen Kreisen umlaufenden Wassertheilchen befanden. Man sieht wie diese in den Kreisen um gleiche Bögen fortrücken, während sich die Wellenberge parallel der Wasserfläche um gleiche Strecken fortbewegen.

Im Kreise *b* sieht man ferner, wie das Wassertheilchen in seinen Lagen 1, 2, 3 den ankommenden Wellenbergen 1, 2, 3 entgegeneilt, und an ihrer Vorderseite aufsteigt, dann von 4 bis 7 von dem Berge in der Richtung seiner Fortbewegung mitgenommen wird, und endlich bei 7 seinen Gipfel erreicht, dann aber hinter diesem zurückbleibt, an seiner Rückseite wieder herabsinkt, und endlich bei 13 seinen ersten Ort wieder erreicht [1]).

Alle Punkte der Wasseroberfläche beschreiben, wie Sie an dieser Zeichnung sehen, gleich grosse Kreise; die Wassertheilchen der Tiefe bewegen sich ebenso, nur dass die Kreisbahnen, in denen sie sich bewegen, nach der Tiefe hin schnell an Grösse abnehmen.

Auf solche Weise entsteht also der Schein einer fortschreitenden Bewegung längs der Oberfläche, während doch die bewegten Massentheilchen selbst sich nicht mit den Wellen fortbewegen, sondern fortdauernd in ihrer engen Kreisbahn umlaufen.

Um nun von den Wasserwellen zu den Schallwellen hinüberzukommen, denken Sie sich statt des Wassers eine zusammendrückbare elastische Flüssigkeit, wie es die Luft ist, und die Wasserwellen durch eine auf die Oberfläche gelegte feste Platte niedergedrückt, so aber, dass die Flüssigkeit dem Druck nirgend seitlich

---

[1]) In der Vorlesung wurde Fig. 2 durch ein bewegliches Modell ersetzt, in welchem die beweglichen und durch Fäden verbundenen Punkte wirklich in Kreisen umliefen, während die verbindenden elastischen Fäden die Wasseroberfläche darstellten.

ausweicht. Unter den Wellenbergen, wo am meisten Flüssigkeit sich befindet, wird sie dabei am stärksten verdichtet werden, in den Wellenthälern weniger. Sie bekommen also jetzt statt der Wellenberge verdichtete Luftschichten, statt der Wellenthäler weniger dichte. Nun stellen Sie sich vor, dass diese plattgepressten Wellen sich ebenso fortpflanzen wie vorher, und dass auch die senkrechten Kreisbahnen der einzelnen Wassertheilchen in horizontale gerade Linien zusammengepresst seien. So bleibt denn auch für die Schallwellen die Eigenthümlichkeit bestehen, dass die Lufttheilchen in ihrer geradlinigen Bahn nur hin und her schwanken, während die Welle selbst eine sich fortpflanzende Bewegungsform ist, die sich fortdauernd aus neuen Lufttheilchen zusammensetzt. Damit hätten wir zunächst Schallwellen, die sich von ihrem Mittelpunkte in horizontaler Richtung ausbreiteten.

Aber die Ausbreitung der Schallwellen ist nicht, wie die der Wasserwellen, auf eine horizontale Fläche beschränkt, sondern sie können sich nach allen Richtungen in den Raum hinein ausbreiten. Denken Sie die Kreise, welche ein in das Wasser geworfener Stein erzeugt, nach allen Richtungen des Raumes hin auslaufend, so werden daraus kugelförmige Luftwellen, in denen sich der Schall verbreitet.

Wir können also fortfahren, uns an dem Bilde der Wasserwellen die Eigenthümlichkeiten der Schallbewegung anschaulich zu machen.

Die Länge der Wasserwellen (d. h. von Wellenberg zu Wellenberg gemessen) ist ausserordentlich verschieden, von den kleinen Kräuselungen der Oberfläche an, wie sie ein fallender Tropfen oder ein leichter Windhauch auf der spiegelnden Fläche erregt, bis zu den Wellen, die den Schweif eines Dampfschiffs bilden, und einen Schwimmer oder Kahn schon artig zu schaukeln vermögen, und von diesen wieder bis zu den Wogen des zürnenden Oceans, in deren Thälern Linienschiffe mit der Länge ihres Kiels Platz finden, und deren Berggipfel nur der überschauen kann, der in die Masten emporgestiegen ist. Aehnliche Unterschiede finden wir bei den Schallwellen. Die kleinen Kräuselungen des Wassers von geringer Wellenlänge entsprechen den hohen Tönen, die langen Meereswogen den tiefen. Das Contra *C* z. B. hat Wellen von 35 Fuss Länge, seine höhere Octave halb so lange, während die höchsten Claviertöne nur 3 Zoll lange Wellen geben.

Sie sehen, dass die Wellenlänge mit der Höhe des Tones zusammenhängt; ich füge hinzu, dass die Höhe der Wellenberge oder,

auf die Luft übertragen, die Stärke der abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen, der Stärke und Intensität des Tones entspricht. Aber Wellen von gleicher Höhe können noch eine verschiedene Form haben. Die Gipfel ihrer Berge z. B. können abgerundet oder spitz sein. Entsprechende Verschiedenheiten können auch bei Schallwellen von gleicher Tonhöhe und Stärke vorkommen, und zwar ist es die Klangfarbe, was der Form der Wasserwellen entspricht. Man überträgt den Begriff der Form von den Wasserwellen auch auf die Schallwellen.

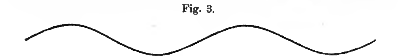
Denken Sie sich Wasserwellen verschiedener Form plattgedrückt, so wird zwar nun die geebnete Oberfläche keine Formverschiedenheit mehr zeigen, aber im Inneren der Wassermasse werden wir verschiedene Arten von Vertheilung des Drucks und der Dichtigkeit haben, die den Formverschiedenheiten der ungepressten Oberfläche entsprechen.

In diesem Sinne können wir also auch von einer Form der Schallwellen sprechen und sie darstellen. Wir lassen die Curve sich heben, wo der Druck wächst, sich senken, wo er abnimmt; gleichsam als hätten wir unterhalb der Curve eine zusammengepresste Flüssigkeit, die sich bis zur Höhe der Curve ausdehnen müsste, um ihre natürliche Dichtigkeit zu erreichen.

Bisher können wir leider erst in sehr wenigen Fällen Rechenschaft von der Form der Schallwellen geben, die den Klangfarben verschiedener tönender Körper entsprechen.

Unter den Formen von Schallwellen, die wir genauer bestimmen können, ist eine von grosser Wichtigkeit, welche wir die einfache oder reine Wellenform nennen können, dargestellt in Fig. 3.

Fig. 3.



Man sieht sie bei Wasserwellen nur, wenn sie zu ihrer Länge verhältnissmässig niedrig sind, und über eine spiegelnde Wasserfläche ohne störende äussere Einflüsse, und ohne vom Winde gebläht zu sein, ablaufen. Berg und Thal sind sanft abgerundet, gleich breit und symmetrisch, so dass die Berge, wenn man sie umgekehrt in die Thäler legte, gerade hinein passen würden. Bestimmter zu charakterisiren wäre diese Wellenform dadurch, dass die Wassertheilchen in genau kreisförmigen Bahnen von geringem Durchmesser mit genau gleichförmiger Geschwindigkeit umlaufen. Die-

ser einfachen Wellenform entspricht eine Art von Tönen, die wir aus nachher anzuführenden Gründen in Bezug auf ihre Klangfarbe einfache Töne nennen wollen. Solche Töne erhalten wir, indem wir eine angeschlagene Stimmgabel vor die Mündung einer gleich gestimmten Resonanzröhre halten. Auch scheint der Ton klangvoller menschlicher Stimmen, welche in ihren mittleren Lagen den Vocal *U* singen, sich nicht sehr weit von dieser Wellenform zu entfernen.

Ausserdem kennt man die Bewegungsgesetze der Saiten genau genug, um in einigen Fällen die Bewegungsform bestimmen zu können, die sie der Luft mittheilen. So stellt zum Beispiel Fig. 4 die Formen dar, welche eine mit einem spitzen Stift gerissene Saite, wie die einer Zither, nach einander annimmt. *Aa* stellt die Form der Saite dar, welche sie in dem Moment des Anschlags annimmt, dann folgen nach gleichen Zwischenzeiten die Formen *B*, *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, dann wieder rückwärts *F*, *E*, *D*, *C*, *B*, *A*, und so fort sich immer wiederholend. Die Bewegungsform, welche von einer solchen Saite mittels des Resonanzbodens an die Luft übertragen wird, entspricht etwa der in Fig. 5 dargestellten gebrochenen Linie, wobei *hh* der Gleichgewichtslage entspricht, und die Buchstaben *a b c d e f g* die Stellen der Wellenlinie bezeichnen, die durch die Wirkung der einzelnen in Fig. 4 durch entsprechende grosse Buchstaben bezeichneten Saitenformen hervorgebracht werden. Man sieht leicht,

Fig. 4.

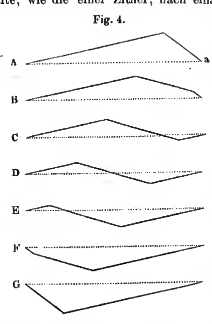
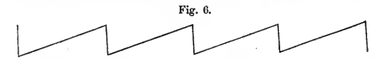


Fig. 5.

wie, auch abgesehen von der Grösse, die Form dieser Wellen (die auf einer Wasserfläche allerdings nicht würden vorkommen können) abweicht von der der Fig. 3, indem die Saite nur eine Reihe kurzer, und abwechselnd nach entgegengesetzten Seiten gerichteter Stösse auf die Luft überträgt [1]).

Die Luftwellen, welche durch den Ton einer Violine hervorgebracht werden, würden bei entsprechender Darstellungsweise durch die Curve Fig. 6 darzustellen sein. Während jeder Schwingungsperiode wächst der Druck gleichmässig, und fällt am Ende derselben plötzlich wieder auf sein Minimum.

Fig. 6.



Solchen Verschiedenheiten der Tonwellenform entspricht also die Verschiedenheit der Klangfarbe; ja wir können den Vergleich noch weiter treiben. Je gleichmässiger gerundet die Wellenform ist, desto weicher und milder die Klangfarbe; je abgerissener und eckiger die Wellenform, desto schärfer der Klang. Die Stimmgabeln mit ihrer rundlichen Wellenform Fig. 3 haben einen ausserordentlich weichen Klang, der Klang der Zither und Violine zeigt ähnliche Schärfe wie ihre Wellenformen Fig. 5 und 6.

Endlich möchte ich nun Ihre Aufmerksamkeit noch einem lehrreichen Schauspiel zulenken, was ich nie ohne ein gewisses physikalisches Vergnügen gesehen habe, weil es dem körperlichen Auge auf der Wasserfläche anschaulich macht, was sonst nur das geistige Auge des mathematischen Denkers in der von Schallwellen durchkreuzten Luft erkennen kann. Ich meine das Uebereinanderliegen von vielen verschiedenen Wellensystemen, deren jedes einzelne seinen Weg ungestört fortsetzt. Wir können es von jeder Brücke aus auf der Oberfläche unserer Flüsse sehen, am erhabensten und reichsten aber, wenn wir auf einem hohen Punkte am Meeresufer stehen.

Oft habe ich an den steilen, waldreichen Küsten des Samlandes, wo uns Bewohnern Ostpreussens das Meer die Stelle der Alpen vertrat, Stunden mit seiner Betrachtung verbracht.

[1]) Es ist hierbei angenommen, dass der Resonanzboden und die ihn berührende Luft dem Zuge, der das Ende der Saite ausübt, unmittelbar folgen, ohne eine merkliche Rückwirkung auf die Bewegung der Saite auszuüben.

Selten fehlt es dort an verschieden langen, in verschiedener Richtung sich fortpflanzenden Wellensystemen in unabsehbarer Zahl. Die längsten pflegen vom hohen Meer gegen das Ufer zu laufen, kürzere entstehen, wo die grösseren brandend zerschellen, und laufen wieder hinaus in das Meer. Vielleicht stösst noch ein Raubvogel nach einem Fische, und erregt ein System von Kreiswellen, die, über die anderen hin auf der wogenden Fläche schaukelnd, sich so regelmässig erweitern, wie auf dem stillen Spiegel eines Landsees. So entfaltet sich vor dem Beschauer von dem fernen Horizonte her, wo zuerst aus der stahlblauen Fläche weisse Schaumlinien auftauchend die herankommenden Wellenzüge verrathen, bis zu dem Strande unter seinen Füssen, wo sie ihre Bogen auf den Sand zeichnen, ein erhabenes Bild unermesslicher Kraft und immer wechselnder Mannigfaltigkeit, die nicht verwirrt, sondern den Geist fesselt und erhebt, da das Auge leicht Ordnung und Gesetz darin erkennt.

Ebenso müssen Sie sich nun die Luft eines Concert- oder Tanzsaales von einem bunten Gewimmel gekreuzter Wellensysteme nicht blos in der Fläche, sondern nach allen ihren Dimensionen durchschnitten denken. Von dem Mund der Männer gehen weitgedehnte 6 bis 12füssige Wellen aus, kürzere $1^1/_2$ bis 3füssige von den Lippen der Frauen. Das Knistern der Kleider erregt kleine Kräuselungen der Luft, jeder Ton des Orchesters entsendet seine Wellen, und alle diese Systeme verbreiten sich kugelförmig von ihrem Ursprungsorte, schiessen durch einander, werden von den Wänden des Saales reflectirt, und laufen so hin und wieder, bis sie endlich, von neu entstandenen übertönt, erlöschen.

Wenn dieses Schauspiel nun auch dem körperlichen Auge verhüllt bleibt, so kommt uns ein anderes Organ zu Hülfe, um uns Kunde davon zu geben, nämlich das Ohr. Es zerlegt das Durcheinander der Wellen, welches in einem solchen Falle viel verwirrender sein würde als die Durchkreuzung der Meereswogen, wieder in die einzelnen Töne, die es zusammensetzen, es unterscheidet die Stimmen der Männer und Frauen, ja der einzelnen Individuen, die Klänge der verschiedenen musikalischen Instrumente, das Rauschen der Kleider, die Fusstritte und so weiter.

Wir müssen näher erörtern, was dabei geschieht. Wenn, wie wir vorher annahmen, auf die wogende Meeresfläche ein Raubvogel stösst, so entstehen Wellenringe, die sich auf der bewegten Fläche langsam und regelmässig ausbreiten, wie auf der ruhenden. Diese Ringe werden in die gekrümmte Oberfläche der Wogen

genau ebenso hineingeschnitten, wie sonst in die ebene des ruhenden Wasserspiegels. Die Form der Wasseroberfläche wird in diesen wie in anderen verwickelteren Fällen dadurch bestimmt, dass die Höhe jedes Punktes gleich wird der Höhe sämmtlicher in diesem Augenblicke dort zusammentreffender Wellenberge zusammen genommen, wovon abzuziehen ist die Summe aller dort gleichzeitig hintreffenden Wellenthäler. Man nennt eine solche Summe positiver Grössen (der Wellenberge) und negativer (der Wellenthäler), welche letzteren, statt sich zu summiren, abzuziehen sind, eine algebraische Summe, und kann in diesem Sinne sagen: die Höhe jedes Punktes der Wasserfläche wird gleich der algebraischen Summe aller Wellentheile, die im Augenblick dort zusammentreffen.

Bei den Schallwellen ist es nun ähnlich. Auch sie summiren sich an jeder Stelle des Luftraumes, sowie am Ohr des Hörenden. Auch bei ihnen wird die Verdichtung und die Geschwindigkeit der Lufttheilchen im Gehörgange gleich der algebraischen Summe der einzelnen Werthe der Verdichtung und Geschwindigkeit, welche den Schallwellenzügen, einzeln genommen, zukommen. Diese eine Bewegung der Luft, welche durch das Zusammenwirken verschiedener tönender Körper entsteht, muss nun das Ohr wieder in Theile zerlegen, welche den Einzelwirkungen entsprechen. Dabei befindet es sich unter viel ungünstigeren Bedingungen, als das Auge, welches die ganze wogende Fläche auf einmal überschaut, während das Ohr natürlich nur die Bewegung der ihm zunächst benachbarten Lufttheilchen wahrnehmen kann. Und doch löst das Ohr seine Aufgabe mit der grössten Genauigkeit, Sicherheit und Bestimmtheit. Diese Fähigkeit des Ohres ist für das Hören von grösster Wichtigkeit; sie muss vorhanden sein, sonst würde man verschiedene Töne nicht von einander unterscheiden können.

Für die Erklärung dieser wichtigen Fähigkeit des Ohres scheinen neuere anatomische Entdeckungen eine Aussicht zu gewähren.

Sie werden Alle schon an musikalischen Instrumenten, namentlich an Saiten, das Phänomen des Mittönens wahrgenommen haben. Die Saite eines Pianoforte z. B., deren Dämpfer man aufgehoben hat, geräth in Schwingung, sobald in der Nähe und stark genug ihr eigener Ton angegeben wird. Hört der erregende Ton auf, so hört man denselben Ton noch auf der Saite eine Weile nachklingen. Legt man Papierschnitzelchen auf die Saite, so werden sie abgeworfen, so wie ihr Ton angegeben wird. Das Mittönen

der Saite beruht darauf, dass die schwingenden Lufttheilchen gegen die Saite und ihren Resonanzboden stossen.

Jeder einzelne Wellenberg der Luft, der an der Saite vorbeigeht, wirkt allerdings zu schwach, um eine merkliche Bewegung der Saite hervorzubringen. Wenn aber eine lange Reihe von Wellenbergen so auf die Saite stossen, dass jeder folgende die kleine Erschütterung vermehrt, welche die vorigen zurückgelassen haben, so wird die Wirkung endlich merklich. Es ist ein Vorgang derselben Art, wie bei einer Glocke von ungeheurem Metallgewicht, die sich unter dem Stosse des kräftigsten Mannes kaum merklich bewegt, während ein Knabe sie allmälig in die gewaltigsten Schwingungen setzen kann, indem er taktmässig in demselben Rhythmus, wie die Glocke ihre Pendelschwingungen vollführt, an dem Stricke zieht.

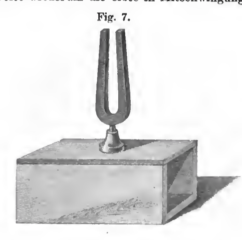
Diese eigenthümliche Verstärkung der Schwingungen hängt hierbei ganz wesentlich von dem Rhythmus ab, in welchem der Zug ausgeübt wird. Wenn die Glocke einmal in Pendelschwingungen von geringer Breite versetzt worden ist, und der Knabe zieht am Seile immer gerade in der Zeit, wo das Seil sich senkt, und wo er durch seinen Zug die schon vorhandene Bewegung der Glocke verstärkt, so wird jeder solcher Zug diese Bewegung, wenn auch nur wenig, verstärken; dadurch wird sie aber allmälig zu einer beträchtlichen Grösse anwachsen.

Wollte der Knabe in unregelmässigen Zwischenzeiten seine Kraft anwenden, bald so, dass er die Bewegung der Glocke dadurch verstärkt, bald so, dass er ihr entgegen arbeitet, so würde er keinen erheblichen Erfolg hervorbringen.

Wie der Knabe die Glocke, so können auch die Zitterungen der leichten und leicht beweglichen Luft die schwere und feste Stahlmasse einer Stimmgabel in Bewegung setzen, wenn der Ton, der in der Luft erregt ist, genau im Einklange mit dem der Gabel ist, weil auch in diesem Falle jeder Anprall einer Luftwelle gegen die Gabel die von den vorausgehenden Stössen ähnlicher Art erregte Bewegung verstärkt.

Am besten benutzt man eine Gabel, wie Fig. 7 (a. f. S.), die auf einem Resonanzboden befestigt ist, und erregt den Ton in der Luft durch eine zweite Gabel ähnlicher Art von genau gleicher Stimmung. Schlägt man die eine an, so findet man nach wenigen Secunden auch die zweite tönend. Dämpft man jetzt den Ton der ersten, indem man ihre Zinken einen Augenblick lang mit dem Finger

berührt, so unterhält die zweite den Ton. Nun bringt aber die zweite wiederum die erste in Mitschwingung und so fort.


Fig. 7.

Klebt man aber nur ein wenig Wachs auf die Enden der einen Gabel, wodurch ihre Tonhöhe für das Ohr kaum merklich von der der anderen Gabel abweichend gemacht wird, so hört das Mitschwingen der zweiten Gabel auf, weil dann die Schwingungszeiten nicht mehr gleich sind, und deshalb die Stösse, welche die von der einen Gabel erregten Luftschwingungen auf den Resonanzboden der anderen hervorbringen, wenn sie auch eine Zeit lang den Bewegungen dieser zweiten Gabel gleichsinnig sind und sie deshalb verstärken, doch nach kurzer Zeit aufhören es zu sein, und die vorher gemachte Wirkung wieder zerstören.

Bei leichteren und beweglicheren tonfähigen Körpern, zum Beispiel bei Saiten, wird nun schon eine geringere Zahl von Luftstössen hinreichen, sie in Bewegung zu setzen, und solche werden deshalb viel leichter als Stimmgabeln und auch bei einem weniger genauen Einklange des erregenden Tones mit ihrem eigenen Tone in Mitschwingen versetzt.

Wenn nun neben einem Clavier mehrere Töne gleichzeitig angegeben werden, kann eine jede einzelne Saite immer nur dann mitschwingen, wenn darunter ihr eigener Ton ist. Denken Sie sich den ganzen Dämpfer des Claviers gehoben und auf alle Saiten Papierschnitzel gelegt, welche abfliegen, so wie die Saite erschüttert wird, denken Sie sich dann in der Nähe mehrere menschliche Stimmen oder Instrumente ertönend, so werden von allen den und nur von den Saiten die Schnitzel abfliegen, deren Ton angegeben wird. Sie sehen, dass also auch das Clavier das Wellengewirr der Luft in seine einzelnen Bestandtheile auflöst.

Was in unserem Ohr in demselben Falle geschieht, ist vielleicht dem eben beschriebenen Vorgange im Claviere sehr ähn-

lich. In der Tiefe des Felsenbeins, in welches hinein unser inneres Ohr ausgehöhlt ist, findet sich nämlich ein besonderes Organ, die Schnecke, so genannt, weil es eine mit Wasser gefüllte Höhlung bildet, die der inneren Höhlung des Gehäuses unserer gewöhnlichen Weinbergschnecke durchaus ähnlich ist. Nur ist dieser Gang der Schnecke unseres Ohres seiner ganzen Länge nach durch zwei in der Mitte seiner Höhe ausgespannte Membranen in drei Abtheilungen, eine obere, eine mittlere und untere, geschieden. In der mittleren Abtheilung sind durch den Marchese Corti sehr merkwürdige Bildungen entdeckt, unzählige, mikroskopisch kleine Plättchen, welche wie die Tasten eines Claviers regelmässig neben einander liegen, an ihrem einen Ende mit den Fasern des Hörnerven in Verbindung stehen, am anderen der ausgespannten Membran anhängen.

Fig. 8 zeigt von einem Theil der Schneckenscheidewand diese ausserordentlich verwickelten Einrichtungen. Die Bögen, welche bei *d* die Membran verlassen, bei *e* sich wieder an sie festsetzen, und zwischen *m* und *o* ihre grösste Höhe erreichen, sind wahr-

Fig. 8.

scheinlich die schwingungsfähigen Gebilde. Sie sind umsponnen von unzähligen Fäserchen, unter denen Nervenfasern erkennbar sind, die durch die Löcher bei *c* an sie herantreten. Auch die querlaufenden Fasern bei *g*, *h*, *i*, *k*, die Zellen bei *o* scheinen dem Nervensystem anzugehören.

Solche Bögen *de* liegen etwa 3000 auf der ganzen Länge der Schneckenscheidewand wie die Tasten eines Claviers regelmässig neben einander.

Neuerdings sind nun auch in dem anderen Theile des Gehörorgans, dem sogenannten Vorhofe, wo die Nerven sich auf häutigen Säckchen verbreiten, die im Wasser schwimmen, elastische Anhängsel der Nervenenden entdeckt worden, welche die Form steifer Härchen haben. Darüber, dass diese Gebilde durch die zum Ohr geleiteten Schallerschütterungen in Mitschwingung versetzt werden, lässt ihre anatomische Anordnung kaum einen Zweifel. Stellen wir weiter die Vermuthung auf, die freilich vorläufig nur Vermuthung bleibt, mir aber bei genauer Ueberlegung der physikalischen Leistungen des Ohres sehr wahrscheinlich erscheint, dass jedes solches Anhängselchen, ähnlich den Saiten des Claviers, auf einen Ton abgestimmt ist, so sehen Sie nach dem Beispiel des Claviers ein, dass nur, wenn dieser Ton erklingt, das betreffende Gebilde schwingen und die zugehörige Nervenfaser empfinden kann, und dass die Gegenwart eines jeden einzelnen solchen Tones in einem Tongewirr auch stets durch die entsprechende Empfindung angezeigt werden muss.

Das Ohr kann also, der Erfahrung nach, zusammengesetzte Luftbewegungen in ihre Theile zerlegen.

Unter zusammengesetzten Luftbewegungen haben wir bisher solche verstanden, die durch Zusammenwirkung mehrerer gleichzeitig tönender Körper entstanden waren. Da nun die Form der Tonwellen der verschiedenen musikalischen Instrumente verschieden ist, so wird es vorkommen können, dass die Schwingungsart der Luft im Gehörgange, die ein solcher Ton erregt, genau gleich ist der Schwingungsart, welche in einem anderen Falle von zwei oder mehreren anderen zusammenwirkenden Instrumenten im Gehörgange erzeugt wird. Wenn das Ohr im letzteren Falle die Bewegung in einzelne Theile zerlegt, wird es nicht wohl umhin können, dasselbe auch im ersteren Falle zu thun, wo der Ton nur aus einer Tonquelle herstammt. Und in der That geschieht dies.

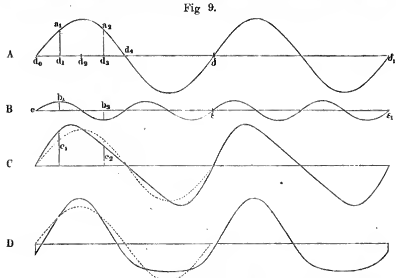
Ich erwähnte vorher der Wellenform mit sanft abgerundeten Thälern und Bergen, welche ich die einfache oder reine nannte.

In Bezug auf diese hat der französische Mathematiker Fourier einen berühmten und wichtigen Satz erwiesen, den man aus der mathematischen Sprache ins Deutsche ungefähr so übersetzen kann: Jede beliebige Wellenform kann aus einer Anzahl einfacher Wellen von verschiedener Länge zusammengesetzt werden. Die längste dieser einfachen Wellen hat dieselbe Länge wie die gegebene Wellenform, die anderen die halbe, drittel, viertel u. s. w. dieser Länge.

Man kann durch das verschiedene Zusammentreffen der Thäler und Berge dieser einfachen Wellen eine unendliche Mannigfaltigkeit der Formen hervorbringen.

So stellen zum Beispiel die Wellencurven A und B, Fig. 9, Wellen einfacher Töne vor, von denen B in gleicher Zeit doppelt so viel Schwin-

Fig 9.

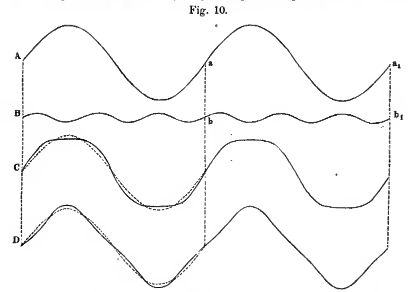


gungen ausführt als A, also der höheren Octave von A entspricht. Dagegen stellen C und D Wellen dar, die durch Uebereinanderlagerung von A und B entstehen. Die punktirte Curve im Anfange beider Figuren ist eine Wiederholung des Anfangs von A. In C ist e der Anfang der Curve B auf den Anfang von A gelegt, in D dagegen das erste Thal b_2 der Curve B auf den Anfang von A. Dadurch entstehen nun zwei verschiedene zusammengesetzte Curven, von denen die obere steil ansteigende und flacher abfallende Berge hat, deren Gipfel, umgekehrt, gerade in die Thäler passen würden, während D spitze Berge und flache Thäler hat, die aber nach vorn und hinten symmetrisch abfallen.

Noch andere Formen zeigt Fig. 10 (a. f. S.), auch aus je zwei einfachen Wellen A und B zusammengesetzt, wobei aber B in gleicher Zeit drei Mal soviel

Schwingungen macht als A, also der Duodecime von A entspricht. In C und D sind die punktirten Curven auch Wiederholungen von A. C hat flache Gipfel und flache Thäler, D spitze Gipfel und spitze Thäler.

Fig. 10.



Diese einfachsten Beispiele mögen genügen, um eine Vorstellung von der Mannigfaltigkeit der Formen zu geben, die durch solche Zusammensetzung hergestellt werden können. Wenn man nun nicht zwei, sondern viele einfache Wellen nimmt, und deren Höhe und Anfangspunkt beliebig verändert, so kann man zahllose Abänderungen erzielen, und in der That jede beliebige Form von Wellen herstellen [1]).

Wenn sich verschiedene einfache Wellen auf der Wasserfläche zusammensetzen, so bleibt freilich die zusammengesetzte Wellenform nur einen Augenblick bestehen, weil die längeren Wellen schneller forteilen als die kürzeren, sie trennen sich also gleich wieder, und das Auge erhält Gelegenheit zu erkennen, dass mehrere Wellenzüge vorhanden sind. Wenn aber Schallwellen in ähnlicher Weise zusammengesetzt sind, so trennen sie sich nicht, weil durch den Luftraum lange und kurze Wellen mit gleicher Geschwindigkeit sich fortpflanzen; sondern die zusammengesetzte Welle bleibt, indem sie fortgeht, so wie sie ist, und wo sie das

---

[1]) Ueberhängende Theile dürfen die Wellen freilich hierbei nicht haben, solche würden aber auch keine mögliche Bedeutung in den Schallwellen finden.

Ohr trifft, kann ihr Niemand ansehen ob sie ursprünglich in dieser Form aus einem musikalischen Instrument hervorgegangen ist, oder ob sie sich unterwegs aus zwei oder mehreren Wellenzügen zusammensetzte.

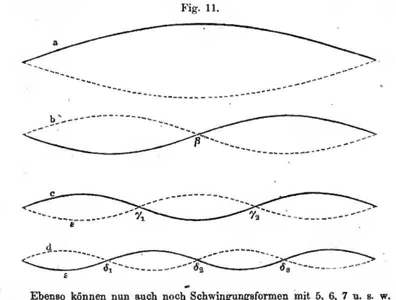
Was thut nun das Ohr, löst es sie auf, oder fasst es sie als Ganzes? — Die Antwort darauf kann nach dem Sinne der Frage verschieden ausfallen, denn wir müssen hier Zweierlei unterscheiden, nämlich erstens die Empfindung im Hörnerven, wie sie sich ohne Einmischung geistiger Thätigkeit entwickelt, und die Vorstellung, welche wir in Folge dieser Empfindung uns bilden. Wir müssen also gleichsam unterscheiden das leibliche Ohr des Körpers. und das geistige Ohr des Vorstellungsvermögens. Das leibliche Ohr thut immer genau dasselbe, was der Mathematiker vermittelst des Fourier'schen Satzes thut, und was das Clavier mit einer zusammengesetzten Tonmasse thut, es löst die Wellenformen, welche nicht schon ursprünglich, wie die Stimmgabeltöne, der einfachen Wellenform entsprechen, in eine Summe von einfachen Wellen auf, und empfindet den einer jeden einfachen Welle zugehörigen Ton einzeln, mag nun die Welle ursprünglich so aus der Tonquelle hervorgegangen sein, oder sich erst unterwegs zusammengesetzt haben.

Schlagen wir zum Beispiel eine Saite an, so giebt eine solche, wie wir schon gesehen haben, einen Klang, dessen Wellenform weit abweicht von der eines einfachen Tones. Indem das Ohr diese Wellenform zerlegt in eine Summe einfacher Wellen, hört es zugleich eine Reihe einfacher Töne, die diesen Wellen entsprechen.

Die Saiten bieten ein besonders günstiges Beispiel für eine solche Untersuchung, weil sie selbst während ihrer Bewegung sehr verschiedene Formen annehmen können, die, wie die Wellenformen der Luft, aus einfachen Wellen zusammengesetzt angesehen werden können. Für die Bewegung einer mit einem Stäbchen angeschlagenen Saite sind die auf einander folgenden Formen schon oben in Fig. 4 dargestellt worden. Eine Anzahl von anderen Schwingungsformen einer Saite, welche einfachen Tönen entsprechen, zeigt Fig. 11 (a. f. S.); die ausgezogene Linie bezeichnet die weiteste Ausbiegung der Saite nach der einen, die gestrichelte Linie nach der anderen Richtung hin. Bei *a* giebt die Saite ihren Grundton, den tiefsten einfachen Ton, den sie geben kann, sie schwingt in ganzer Länge bald nach der einen, bald nach der anderen Seite hin. Bei *b* zerfällt sie in zwei schwingende Abtheilungen, zwischen denen ein ruhender, sogenannter Knotenpunkt β bleibt, der Ton ist dann die höhere Octave des Grundtons, wie ihn auch jede ihrer beiden Abtheilungen für sich geben würde, und macht doppelt soviel Schwingungen als der Grundton. Bei *c* haben wir zwei Knotenpunkte, drei schwingende Abtheilungen und dreimal soviel Schwingungen als beim Grundton, also die Duodecime von diesem; bei *d* vier

Abtheilungen und viermal soviel Schwingungen, die zweite höhere Octave des Grundtons.

Fig. 11.



Ebenso können nun auch noch Schwingungsformen mit 5, 6, 7 u. s. w. schwingenden Abtheilungen vorkommen, deren Schwingungszahl im Verhältniss dieser Zahlen grösser ist als die des Grundtons, und alle anderen chwingungsformen der Saite können betrachtet werden als zusammengesetzt aus einer Summe solcher einfacher Schwingungen.

Die mit Knotenpunkten versehenen Schwingungsformen der Saite kann man hervorbringen, wenn man die Saite in einem der betreffenden Knotenpunkte leise mit dem Finger oder einem Stäbchen berührt, während man sie zum Tönen bringt, sei es mit dem Bogen oder durch Reissen mit dem Finger oder durch Anschlag mit einem Clavierhammer. Es giebt dies die sogenannten Flageolettöne der Saiten, wie sie von Violinspielern vielfach gebraucht werden.

Wenn man nun eine Saite irgendwie zum Tönen gebracht hat, und sie dann einen Augenblick leicht mit dem Finger bei β Fig. 11 b in ihrem Mittelpunkte berührt, so werden die Schwingungsformen *a* und *c* durch diese Berührung gehindert und gedämpft, die Schwingungsformen *b* und *d* aber, bei denen der Punkt β ruht, werden durch die Berührung nicht gehemmt, sondern fahren fort zu tönen. So kann man leicht erkennen, ob gewisse Glieder aus der Reihe der einfachen Töne einer Saite bei einer gegebenen Anschlagsweise in ihrem Klange enthalten sind, und kann sie dem Ohre einzeln hörbar machen.

Hat man diese einfachen Töne aus dem Klange der Saite sich in solcher Weise einzeln hörbar gemacht, so gelingt es bei genauer Aufmerksamkeit auch bald, sie in dem unveränderten Klange der ganzen Saite zu unterscheiden.

Die Reihe der Töne, welche sich hierbei zu einem gegebenen Grundton gesellen, ist übrigens eine ganz bestimmte; es sind die Töne, welche zwei, drei, vier u. s. w. Mal so viele Schwingungen machen als der Grundton. Man nennt sie die harmonischen Obertöne des Grundtons. Nennen wir den letzteren *c*, so wird ihre Reihe in Notenschrift, wie folgt, gegeben.



Sowie die Saiten, geben nun auch fast alle anderen musikalischen Instrumente Tonwellen, die nicht genau der reinen Wellenform entsprechen, sondern aus einer grösseren oder geringeren Zahl einfacher Wellen zusammenzusetzen sind. Das Ohr analysirt sie alle nach dem Fourier'schen Satze, trotz dem besten Mathematiker, und hört bei gehöriger Aufmerksamkeit die den einzelnen einfachen Wellen entsprechenden Obertöne heraus. Es entspricht dies übrigens ganz unserer Annahme über das Mitschwingen der Corti'schen Organe. Es lehrt nämlich sowohl die Erfahrung am Claviere, als auch die mathematische Theorie für alle mittönenden Körper, dass nicht bloss der Grundton, sondern ebenso die vorhandenen Obertöne des erregenden Tones das Mitschwingen bewirken. Es folgt daraus, dass auch in der Schnecke des Ohres jeder äussere Ton, nicht bloss das seinem Grundton entsprechende Plättchen in Mitschwingung setzen, und die zugehörigen Nervenfasern erregen wird, sondern auch die den Obertönen entsprechenden, so dass letztere ebenso gut empfunden werden müssen als der Grundton.

Danach ist ein einfacher Ton nur ein solcher, der durch einen Wellenzug von der reinen Wellenform erregt wird. Alle anderen Wellenformen, wie sie von den meisten musikalischen Instrumenten hervorgebracht werden, erregen mehrfache Tonempfindungen.

Daraus folgt, dass streng genommen für die Empfindung alle Töne der musikalischen Instrumente als Accorde mit vorwiegendem Grundtone zu betrachten sind.

Diese ganze Lehre von den Obertönen wird Ihnen vielleicht neu und seltsam vorkommen. Die Wenigsten unter Ihnen, so oft Sie auch Musik gehört oder selbst gemacht haben, und eines so guten musikalischen Gehörs Sie sich auch erfreuen, werden dergleichen Töne schon wahrgenommen haben, die nach meiner Darstellung fortdauernd und immer vorhanden sein sollen. Es ist in der That immer ein besonderer Act der Aufmerksamkeit nothwendig, um

sie zu hören, sonst bleiben sie verborgen. Alle unsere sinnlichen Wahrnehmungen sind nämlich nicht bloss Empfindungen der Nervenapparate, sondern es gehört noch eine eigenthümliche Thätigkeit der Seele dazu, um von der Empfindung des Nerven aus zu der Vorstellung von einem äusseren Objecte zu gelangen, was die Empfindung erregt hat. Die Empfindungen unserer Sinnesnerven sind uns Zeichen für gewisse äussere Objecte, und wir lernen grossen Theils erst durch Einübung die richtigen Schlüsse von den Empfindungen auf die entsprechenden Objecte ziehen. Nun ist es ein allgemeines Gesetz aller unserer Sinneswahrnehmungen, dass wir nur so weit auf unsere Sinnesempfindungen achten, als sie uns dazu dienen können, die äusseren Objecte zu erkennen; wir sind in dieser Beziehung alle höchst einseitige und rücksichtslose Anhänger des praktischen Nutzens, mehr als wir vermuthen. Alle Empfindungen, welche nicht directen Bezug auf äussere Objecte haben, pflegen wir im gewöhnlichen Gebrauche der Sinne vollständig zu ignoriren, und erst bei der wissenschaftlichen Untersuchung der Sinnesthätigkeit werden wir darauf aufmerksam, oder auch bei Krankheiten, wo wir unsere Aufmerksamkeit mehr auf die Erscheinungen unseres Leibes richten. Wie oft bemerken Patienten erst, wenn sie von einer leichten Augenentzündung befallen sind, dass ihnen Körnchen und Fäserchen, sogenannte fliegende Mücken im Auge herumschwimmen, und machen sich die hypochondrischesten Gedanken darüber, weil sie sie für neu halten, während sie sie doch meistens schon während ihres ganzen Lebens vor den Augen gehabt haben.

Wer bemerkt so leicht, dass im Gesichtsfelde jedes gesunden Auges eine Stelle vorkommt, wo man gar nichts sieht, der sogenannte blinde Fleck? Wie viele Leute wissen davon, dass sie fortdauernd nur die Gegenstände, welche sie fixiren, einfach sehen, alles was dahinter oder davor liegt, doppelt? Ich könnte Ihnen eine lange Reihe solcher Beispiele aufführen, welche erst durch die wissenschaftliche Untersuchung der Sinnesthätigkeiten zu Tage gekommen sind, und hartnäckig verborgen bleiben, bis man durch geeignete Mittel die Aufmerksamkeit auf sie lenkt, was oft ein recht schwieriges Geschäft ist.

In dieselbe Classe von Erscheinungen gehören die Obertöne. Es ist nicht genug, dass der Hörnerv den Ton empfindet, die Seele muss auch noch darauf reflectiren; ich unterschied deshalb vorher das leibliche und geistige Ohr.

Wir hören den Ton einer Saite immer von einer gewissen

Combination von Obertönen begleitet. Eine andere Combination solcher Töne gehört zum Ton der Flöte, oder der menschlichen Stimme, oder dem Heulen eines Hundes. Ob eine Violine oder Flöte, ob ein Mensch oder Hund in der Nähe sei, interessirt uns zu wissen, und unser Ohr übt sich die Eigenthümlichkeiten dieser Töne genau zu unterscheiden. Durch welche Mittel wir sie aber unterscheiden, ist uns gleichgültig.

Ob die Stimme des Hundes die höhere Octave oder Duodecime des Grundtons enthält, ist ohne praktisches Interesse, und kein Object für unsere Aufmerksamkeit. So gehen uns denn die Obertöne mit in den weiter nicht näher zu bezeichnenden Eigenthümlichkeiten des Tones auf, die wir Klangfarbe nennen. Da die Existenz der Obertöne von der Wellenform abhängt, sehen Sie auch, wie ich vorher sagen konnte, dass die Klangfarbe der Wellenform entspricht.

Am leichtesten hört man die Obertöne, wenn sie unharmonisch zum Grundtone sind, wie bei den Glocken. Die Kunst des Glockengusses besteht namentlich darin, der Glocke eine Form zu geben, bei welcher die tieferen stärksten Nebentöne harmonisch zum Grundtone werden, sonst klingt der Ton unmusikalisch, kesselähnlich; die höheren bleiben aber immer unharmonisch, und der Glockenton ist deshalb zur künstlerischen Musik nicht geeignet.

Dagegen ergiebt sich aus dem Gesagten, dass man die Obertöne desto schwerer hören wird, je häufiger man die zusammengesetzten Klänge gehört hat, in denen sie vorkommen. Das ist namentlich bei den Klängen der menschlichen Stimme der Fall, nach deren Obertönen viele und geschickte Beobachter vergebens gesucht haben.

In überraschender Weise wurde die eben vorgetragene Ansicht der Sache dadurch bestätigt, dass sich aus ihr eine Methode herleiten liess, durch welche es sowohl mir selbst gelang, die Obertöne der menschlichen Stimme zu hören, als auch andere Personen sie hören zu lassen.

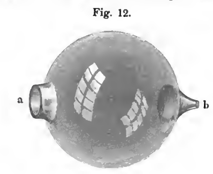
Es kommt dabei nicht auf ein besonders ausgebildetes musikalisches Gehör an, wie man bisher glaubte, sondern nur darauf, die Aufmerksamkeit durch geeignete Mittel passend zu lenken.

Lassen Sie neben dem Claviere durch eine kräftige Männerstimme den Vocal *O* auf das ungestrichene *es* singen. Geben Sie ganz leise auf dem Claviere das *b* der nächst höheren eingestrichenen Octave an, und hören Sie genau auf den verklingenden Clavierton. Ist der angegebene Ton als Oberton in dem Stimm-

klang enthalten, so schwindet der Clavierton scheinbar nicht, sondern das Ohr hört als seine Fortsetzung den entsprechenden Oberton der Stimme. So findet man bei passenden Abänderungen dieses Versuches, dass die verschiedenen Vocale sich durch ihre Obertöne von einander unterscheiden.

Noch leichter ist eine solche Untersuchung, wenn man das Ohr bewaffnet mit Kugeln aus Glas oder Metall, wie sie Fig. 12 zeigt. Deren weitere Oeffnung *a* wird gegen die Tonquelle hingekehrt, während das engere trichterförmige Ende in den Gehörgang eingesetzt wird. Die ziemlich abgeschlossene Luftmasse der Kugel hat ihren bestimmten Eigenton, der zum Beispiel zum Vorschein kommt, wenn man sie am Rande der Oeffnung *a* anbläst. Wird nun der Eigenton der Kugel aussen angegeben, sei es als Grundton, sei es als Oberton irgend eines Klanges, so kommt die Luftmasse der Kugel in starkes Mitschwingen, und das mit dieser Luftmasse verbundene Ohr hört den betreffenden Ton in verstärkter Intensität. So ist es sehr leicht zu entscheiden, ob der Eigenton der Kugel in einem Klange oder einer Klangmasse vorkommt oder nicht.

Fig. 12.



Untersucht man die Vocale der menschlichen Stimme, so erkennt man mit Hülfe der Resonatoren leicht, dass die Obertöne jedes einzelnen Vocals in gewissen Gegenden der Scale besonders stark sind, so zum Beispiel die des *O* in der Gegend des eingestrichenen *b'*, die des A in der des zweigestrichenen *b''*, eine Octave höher. Eine Uebersicht dieser Gegenden der Scale, wo die Obertöne der einzelnen Vocale nach norddeutscher Aussprache besonders stark zum Vorschein kommen, folgt hier in Notenschrift:



Wie es einerlei ist, ob die verschiedenen einfachen Töne, die in einem solchen zusammengesetzten Klange, wie es ein Vocal der menschlichen Stimme ist, vereinigt sind, von einer oder mehreren Tonquellen herkommen, zeigt besonders folgender leicht anzustellender Versuch: Ein Clavier giebt bei gehobenem Dämpfer nicht bloss Klänge durch Mitklingen wieder, die dieselbe Höhe haben, wie diejenigen denen es nachklingt, sondern singen Sie den Vocal A auf irgend eine Note des Claviers hinein, so tönt auch ganz deutlich A wieder heraus, und singen Sie E, O oder U hinein, so klingen die Saiten E, O und U nach. Es kommt nur darauf an, dass Sie den Ton des Claviers, den Sie singen wollen, recht genau treffen. Der Vocalklang kommt aber nur dadurch zu Stande, dass die höheren Saiten, welche den harmonischen Obertönen des angegebenen Tones entsprechen, mitklingen. Lassen Sie auf diesen den Dämpfer ruhen, so gelingt der Versuch nicht.

So werden bei diesem Versuche durch den Ton einer Tonquelle, nämlich der Stimme, die Töne vieler Saiten erregt, und dadurch eine Luftbewegung hervorgebracht, die in Form, also auch in Klangfarbe, der des einfachen Tons gleich ist.

Wir haben bisher nur von Zusammensetzungen von Wellen verschiedener Länge gesprochen. Jetzt wollen wir Wellen gleicher Länge, die in gleicher Richtung fortgehen, zusammensetzen. Das Resultat wird hier ganz verschieden sein, je nachdem die Berge der einen mit den Bergen der anderen zusammentreffen, wobei Berge von doppelter Höhe und Thäler von doppelter Tiefe entstehen, oder Berge der einen mit Thälern der anderen. Wenn beide Wellenzüge gleiche Höhe haben, so dass die Berge gerade hinreichen die Thäler auszufüllen, so werden im letzten Falle Berge und Thäler gleichzeitig verschwinden, die beiden Wellen werden sich gegenseitig zerstören. Ebenso, wie zwei Wasserwellenzüge, können sich auch zwei Schallwellenzüge gegenseitig zerstören, wenn die verdichteten Theile des einen mit den verdünnten des anderen zusammenfallen. Diese merkwürdige Erscheinung, wo Schall den Schall gleicher Art zerstört, nennt man die Interferenz des Schalles.

Mit der oben beschriebenen Sirene lässt sich das leicht nachweisen; wenn man den oberen Kasten derselben so stellt, dass aus beiden Windkästen die Luftstösse der Reihen von 12 Löchern gleichzeitig hervorbrechen, so verstärken sie gegenseitig ihre Wirkung, und man bekommt den Grundton des betreffenden Sirenentons sehr voll und stark; stellt man aber den oberen Windkasten

so, dass die Luftstösse von oben erfolgen, wenn die untere Löcherreihe gedeckt ist, und umgekehrt, so verschwindet der Grundton, und man hört nur noch schwach den ersten Oberton, der eine Octave höher ist, und welcher unter diesen Umständen durch Interferenz nicht zerstört wird.

Die Interferenz führt uns zu den sogenannten Schwebungen der Töne. Wenn zwei gleichzeitig gehörte Töne genau gleiche Schwingungsdauer haben, und im Anfang ihre Wellenberge zusammenfallen, so werden sie auch fortdauernd zusammenfallen, oder wenn sie anfangs nicht zusammenfielen, werden sie auch bei längerer Dauer nicht zusammenfallen.

Die beiden Töne werden sich entweder fortdauernd verstärken, oder fortdauernd schwächen. Wenn die beiden Töne aber nur annähernd gleiche Schwingungsdauer haben, und ihre Wellenberge fallen anfangs zusammen, so dass sie sich verstärken, so werden allmälig die Berge des einen denen des andern voreilen. Es werden Zeiten kommen, wo die Berge des einen in Thäler des andern fallen, dann wieder Zeiten, wo die voreilenden Wellenberge des ersten wieder Berge des andern erreicht haben, und dies giebt sich kund durch abwechselnde Steigerungen und Schwächungen des Tons, die wir Schwebungen oder Stösse der Töne nennen. Man kann dergleichen Schwebungen oft hören, wenn zwei nicht ganz genau im Einklange befindliche Tonwerkzeuge dieselbe Note angeben. Ein verstimmtes Clavier, wo die zwei oder drei Saiten, die von derselben Taste angeschlagen werden, nicht mehr genau zusammenstimmen, lässt sie deutlich hören. Recht langsam und regelmässig erfolgende Schwebungen klingen in getragener Musik, namentlich in mehrstimmigem Kirchengesang oft sehr schön, indem sie bald majestätischen Wogen gleich durch die hohen Gewölbe hinziehen, bald durch ein leichtes Beben dem Tone den Charakter der Inbrunst und Rührung verleihen. Je grösser die Differenz der Schwingungsdauer, desto schneller werden die Schwebungen. So lange nicht mehr als 4 bis 6 Schwebungen in der Secunde erfolgen, fasst das Ohr die abwechselnden Verstärkungen des Tons leicht einzeln auf. Bei noch kürzeren Schwebungen erscheint der Ton knarrend, oder, wenn er hoch ist, schrillend. Ein knarrender Ton ist eben ein durch schnelle Unterbrechungen getheilter Ton, ähnlich dem Buchstaben *R*, der dadurch entsteht, dass wir den Ton der Stimme durch Zittern des Gaumens oder der Zunge unterbrechen.

Werden die Schwebungen immer schneller, so wird es zu-

nächst dem Ohr immer schwerer sie einzeln zu hören, während noch eine Rauhigkeit des Tones bestehen bleibt. Zuletzt werden sie ganz unwahrnehmbar, und verfliessen, wie die einzelnen Luftstösse, die einen Ton zusammensetzen, in eine continuirliche Tonempfindung *).

Während also jeder einzelne musikalische Ton für sich im Hörnerven eine gleichmässig anhaltende Empfindung hervorbringt, stören sich zwei ungleich hohe Töne gegenseitig, und zerschneiden sich in einzelne Tonstösse, die im Hörnerven eine discontinuirliche Erregung hervorbringen, und die dem Ohr ebenso unangenehm sind, wie ähnliche intermittirende und schnell wiederholte Reizungen anderen empfindlichen Organen, z. B. flackerndes, glitzerndes Licht dem Auge, Kratzen mit einer Bürste der Haut. Diese Rauhigkeit des Tones ist der wesentliche Charakter der Dissonanz. Am unangenehmsten ist sie dem Ohre, wenn die beiden Töne ungefähr um einen halben Ton auseinander stehen, wobei die Töne der mittleren Gegend der Scala etwa 20 bis 40 Stösse in der Secunde geben. Bei dem Unterschiede eines ganzen Tones ist die Rauhigkeit geringer, bei einer Terz pflegt sie, wenigstens in den höheren Lagen der Tonleiter, zu verschwinden. Die Terz kann daher als Consonanz erscheinen. Wenn die Grundtöne so weit von einander entfernt sind, dass sie keine hörbaren Schwebungen mehr hervorbringen, so können noch Schwebungen der Obertöne eintreten, und den Klang rauh machen. Wenn z. B. zwei Töne eine Quinte bilden, d. h. der eine zwei, der andere drei Schwingungen in gleicher Zeit vollendet, so haben beide unter ihren Obertönen einen, welcher in derselben Zeit sechs Schwingungen macht. Ist nun das Verhältniss der Grundtöne genau 2 zu 3, so sind auch die beiden Obertöne von sechs Schwingungen genau gleich, und stören die Harmonie der Grundtöne nicht; ist jenes Verhältniss nur angenähert wie 2 zu 3, so sind die beiden Obertöne nicht genau gleich, sondern machen mit einander Schwebungen und der Ton wird rauh.

Die Gelegenheit, solche Schwebungen unreiner Quinten, die übrigens nur langsam dahin wogen, zu hören ist sehr häufig, weil auf dem Clavier und der Orgel bei unserem jetzigen Stimmungssystem alle Quinten unrein sind. Man erkennt bei richtig gelenk-

*) Der Uebergang der Schwebungen in eine rauhe Dissonanz wurde mittels zweier Orgelpfeifen ausgeführt, von denen die eine allmälig mehr und mehr verstimmt wurde.



ter Aufmerksamkeit, oder besser mit Hülfe eines passend gestimmten Resonators leicht, dass wirklich der bezeichnete Oberton in Schwebung begriffen ist. Die Schwebungen sind natürlich schwächer als die der Grundtöne, weil die schwebenden Obertöne schwächer sind. Wenn wir auch meistens nicht zum klaren Bewusstsein dieser schwebenden Obertöne kommen, so empfindet das Ohr doch ihre Wirkung als eine Ungleichförmigkeit oder Rauhigkeit des Gesammttons, während eine vollkommen reine Quinte, für deren Töne das Verhältniss der Schwingungszahlen genau wie 2 : 3 ist, vollkommen gleichmässig fortklingt, ohne irgend welche Veränderungen, Verstärkungen, Schwächungen oder Rauhigkeiten des Tons. Es ist schon vorher erwähnt worden, wie mit der Sirene in sehr einfacher Weise nachgewiesen werden kann, dass der vollkommenste Zusammenklang der Quinte genau dem genannten Verhältnisse der Schwingungszahlen entspricht; hier haben wir nun auch den Grund der Rauhigkeit kennen gelernt, welche durch jede Abweichung von jenem Verhältnisse hervorgebracht wird.

Ebenso klingen uns Töne, deren Schwingungszahlen sich genau wie 3 zu 4, oder wie 4 zu 5 zu einander verhalten, welche also eine reine Quarte oder reine Terz bilden, besser als solche, die von diesem Verhältnisse etwas abweichen. So gehören also zu einem gegebenen Tone als Grundton ganz genau bestimmte andere Tonstufen, die mit ihm zusammenklingen können, ohne eine Ungleichmässigkeit oder Rauhigkeit des Tones hervorzubringen, oder die wenigstens durch ihren Zusammenklang mit dem ersten Tone eine geringere Rauhigkeit hervorbringen als alle etwas grösseren oder etwas kleineren Tonintervalle.

Dadurch ist es bedingt, dass die neuere Musik, welche wesentlich auf die Harmonie consonirender Töne gebaut ist, gezwungen ist, in ihrer Scala nur gewisse genau bestimmte Tonstufen zu gebrauchen. Aber auch für die ältere einstimmige Musik, welche der Harmonie entbehrte, lässt sich nachweisen, wie die in allen musikalischen Klängen enthaltenen Obertöne bewirken konnten, dass Fortschritte in gewissen bestimmten Intervallen bevorzugt werden mussten, und wie durch einen gemeinsam in zwei Tönen einer Melodie enthaltenen Oberton eine gewisse dem Ohre fühlbare Verwandtschaft dieser Töne entsteht, welche ein künstlerisches Verbindungsmittel derselben bildet. Doch ist die Zeit zu knapp, dies hier weiter auszuführen; wir würden dabei genöthigt sein, weit in die Geschichte der Musik zurückzugehen.

Erwähnen will ich nur noch, dass noch eine andere Art von Beitönen besteht, die Combinationstöne, welche nur gehört werden, wenn zwei oder mehrere starke Töne verschiedener Höhe zusammenklingen, und dass auch diese unter Umständen Schwebungen und Rauhigkeiten des Zusammenklangs hervorbringen können. Wenn man auf der Sirene oder mit vollkommen rein gestimmten Orgelpfeifen, oder auf der Violine die Terz *c' e* (Schwingungsverhältniss 4 : 5) angiebt, so hört man gleichzeitig schwach das *C* als Combinationston erklingen, welches zwei Octaven tiefer ist, als *c'*. Dasselbe *C* erklingt auch, wenn man gleichzeitig die Töne *e'* und *g'* (Schwingungsverhältniss 5 : 6) angiebt.

Giebt man nun die drei Töne *c'*, *e'* und *g'* gleichzeitig an, und ist ihr Verhältniss genau wie 4 : 5 : 6, so hat man zwei Mal den Combinationston *C* in vollkommenem Einklange und ohne Schwebungen. Wenn aber die drei Noten nicht ganz genau so gestimmt sind, wie jenes Zahlenverhältniss fordert, so sind die beiden Combinationstöne *C* etwas verschieden und gehen leise Schwebungen.

Die Combinationstöne sind in der Regel viel schwächer als die Obertöne, ihre Schwebungen deshalb viel weniger merkbar und rauh, als die der Obertöne, so dass sie nur bei solchen Klangfarben in Betracht kommen, welche fast gar keine Obertöne haben, wie bei den gedackten Pfeifen der Orgel und bei den Flöten. Aber es ist unverkennbar, dass eben deshalb eine harmonische Musik, die mit solchen Instrumenten ausgeführt wird, kaum einen Unterschied zwischen Harmonie und Disharmonie bietet, und deshalb unserem Ohre charakterlos und weichlich klingt. Alle guten musikalischen Klangfarben sind vielmehr verhältnissmässig reich an Obertönen, namentlich den fünf ersten Obertönen, welche Octaven, Quinten und Terzen des Grundtons bilden, und in den Mixturen der Orgel setzt man sogar absichtlich Nebenpfeifen, welche der Reihe der harmonischen Obertöne der den Hauptton gebenden Pfeife entsprechen, dieser hinzu, um eine durchdringendere und kräftigere Klangfarbe zur Begleitung des Gemeindegesanges zu erhalten, so dass auch hierbei unverkennbar ist, eine wie wichtige Rolle die Obertöne bei der künstlerischen Wirkung der Musik spielen.

So sind wir also zum Kern der Harmonielehre vorgedrungen. Harmonie und Disharmonie scheiden sich dadurch, dass in der ersteren die Töne neben einander so gleichmässig abfliessen, wie jeder einzelne für sich, während in der Disharmonie Unverträg-

lichkeit stattfindet, und sie sich gegenseitig in einzelne Stösse zertheilen. Sie werden einsehen, wie zu diesem Resultate alles früher Besprochene zusammenwirkt. Zunächst beruht das Phänomen der Stösse oder Schwebungen auf Interferenz der Wellenbewegung; es konnte deshalb dem Schalle nur zukommen, weil er eine Wellenbewegung ist. Andererseits war für die Feststellung der consonirenden Intervalle die Fähigkeit des Ohres nothwendig, die Obertöne empfinden zu können, und die zusammengesetzten Wellensysteme nach dem Fourier'schen Satze in einfache aufzulösen. Dass die Obertöne der musikalisch brauchbaren Töne zum Grundtone im Verhältnisse der ganzen Zahlen zu Eins stehen, und dass die Schwingungsverhältnisse der harmonischen Intervalle deshalb den kleinsten ganzen Zahlen entsprechen, beruht ganz in dem Fourier'schen Satze. Wie wesentlich die genannte physiologische Eigenthümlichkeit des Ohres ist, wird namentlich klar, wenn wir es mit dem Auge vergleichen. Auch das Licht ist eine Wellenbewegung eines besonderen, durch den Weltraum verbreiteten Mittels, des Lichtäthers, auch das Licht zeigt die Erscheinungen der Interferenz. Auch das Licht hat Wellen verschiedener Schwingungsdauer, die das Auge als verschiedene Farben empfindet, nämlich die mit grösster Schwingungsdauer als Roth; dann folgen Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett, dessen Schwingungsdauer etwa halb so gross als die des äussersten Roth ist. Aber das Auge kann zusammengesetzte Lichtwellensysteme, d. h. zusammengesetzte Farben nicht von einander scheiden; es empfindet sie in einer nicht aufzulösenden, einfachen Empfindung, der einer Mischfarbe. Es ist ihm deshalb gleichgültig, ob in der Mischfarbe Grundfarben von einfachen oder nicht einfachen Schwingungsverhältnissen vereinigt sind. Es hat keine Harmonie in dem Sinne wie das Ohr; es hat keine Musik.

Die Aesthetik sucht das Wesen des künstlerisch Schönen in seiner unbewussten Vernunftmässigkeit. Ich habe Ihnen heute das verborgene Gesetz aufzudecken gesucht, was den Wohlklang der harmonischen Tonverbindungen bedingt. Es ist recht eigentlich ein unbewusstes, so weit es in den Obertönen beruht, die zwar vom Nerven empfunden, gewöhnlich doch nicht in das Gebiet des bewussten Vorstellens eintreten, deren Verträglichkeit oder Unverträglichkeit aber doch gefühlt wird, ohne dass der Hörer weiss, wo der Grund seines Gefühls liegt.

Diese Erscheinungen des rein sinnlichen Wohlklanges sind freilich erst der niedrigste Grad des musikalisch Schönen. Für

die höhere, geistige Schönheit der Musik sind Harmonie und Disharmonie nur Mittel, aber wesentliche und mächtige Mittel. In der Disharmonie fühlt sich der Hörnerv von den Stössen unverträglicher Töne gequält, er sehnt sich nach dem reinen Abfluss der Töne in der Harmonie, und drängt zu ihr hin, um in ihr besänftigt zu verweilen. So treiben und beruhigen beide abwechselnd den Fluss der Töne, in dessen unkörperlicher Bewegung das Gemüth ein Bild der Strömung seiner Vorstellungen und Stimmungen anschaut. Aehnlich wie vor der wogenden See fesselt es hier die rhythmisch sich wiederholende und doch immer wechselnde Weise der Bewegung und trägt es mit sich fort. Aber während dort nur mechanische Naturkräfte blind walten, und in der Stimmung des Anschauenden deshalb schliesslich doch der Eindruck des Wüsten überwiegt, folgt in dem musikalischen Kunstwerk die Bewegung den Strömungen der erregten Seele des Künstlers. Bald sanft dahin fliessend, bald anmuthig hüpfend, bald heftig aufgeregt, von den Naturlauten der Leidenschaft durchzuckt oder gewaltig arbeitend, überträgt der Fluss der Töne in ursprünglicher Lebendigkeit ungeahnte Stimmungen, die der Künstler seiner Seele abgelauscht hat, in die Seele des Hörers, um ihn endlich in den Frieden ewiger Schönheit emporzutragen, zu dessen Verkündern unter den Menschen die Gottheit nur wenige ihrer erwählten Lieblinge geweiht hat.

Hier aber sind die Grenzen der Naturforschung und gebieten mir Halt.

EIS UND GLETSCHER.

Vorlesung

gehalten

im Februar 1865 in Frankfurt a. M. und Heidelberg.

Hochgeehrte Versammlung!

Die Welt des Eises und des ewigen Schnees, wie sie sich auf den Gipfeln der benachbarten Alpenkette entfaltet, so starr, so einsam, so gefahrvoll sie auch sein mag, hat ihren ganz besonderen Zauber. Sie fesselt nicht nur die Aufmerksamkeit des Naturforschers, der in ihr die wunderbarsten Aufschlüsse über die jetzige und vergangene Geschichte des Erdballs findet, sie lockt auch in jedem Sommer Tausende von Reisenden aus allen Ständen herbei, die in ihr geistige und körperliche Erfrischung suchen. Während die Einen sich damit begnügen, von fern den blendenden Schmuck zu bewundern, den die reinen Lichtmassen schneeiger Gipfel, eingeschaltet zwischen das tiefere Blau des Himmels und das saftigere Grün der Matten der Landschaft verleihen, dringen Andere kühner in die fremdartige Welt vor, den äussersten Graden von Anstrengung und Gefahr sich willig unterziehend, um sich am Anblick ihrer Erhabenheit zu sättigen.

Ich will nun nicht versuchen, was so oft vergebens versucht worden ist, Ihnen mit Worten die Schönheit und Grossartigkeit der Natur ausmalen zu wollen, deren Anblick den Alpenwanderer entzückt. Ich darf ja wohl voraussetzen, dass sie den meisten von Ihnen aus eigener Anschauung bekannt ist, oder es hoffentlich noch werden wird. Aber ich meine, dass die Freude und das Interesse an der Erhabenheit jener Scenen Sie um so geneigter machen wird, auch den sehr merkwürdigen Ergebnissen der neueren Naturforschung über die hervorragendsten Erscheinungen der Eiswelt ein williges Ohr zu leihen. Da zeigen sich kleine Eigenthümlichkeiten des Eises, deren Erwähnung unter andern Umständen vielleicht als eine wissenschaftliche Spitzfindigkeit hätte be-

trachtet werden können, als die Ursachen der wichtigsten Vorgänge in den Gletschern; unförmliche Steinblöcke beginnen dem aufmerksamen Beobachter ihre Geschichte zu erzählen, oft Geschichten, die weit über die Vergangenheit des Menschengeschlechts hinausreichen in das Dunkel der Urzeit; ruhiges gesetzmässiges und segensreiches Walten ungeheurer Naturkräfte wird offenbar, wo beim ersten Anblick sich nur Wüsten zeigen, entweder unabsehbar hingestreckt in trostloser öder Einsamkeit, oder voll von wilder gefahrdrohender Verwirrung, ein Tummelplatz zerstörender Gewalten. Und so glaube ich Ihnen sogar versprechen zu dürfen, dass das Studium des Zusammenhangs jener Erscheinungen, wovon ich heute allerdings nur einen sehr kurzen Abriss geben kann, Ihnen nicht nur eine prosaische Belehrung gewähren, sondern auch Ihre Freude an den grossartigen Scenen des Hochgebirges lebhafter, Ihr Interesse reicher und Ihre Bewunderung grösser machen wird.

Lassen Sie mich Ihnen erst die Hauptzüge der äusseren Erscheinung der Schneefelder und der Gletscher des Hochgebirges in das Gedächtniss zurückrufen und hinzufügen, was genauere Messungen zur Beobachtung ergänzend beigetragen haben, ehe ich zur Erörterung des ursächlichen Zusammenhangs jener Vorgänge übergehe.

Je höher wir an den Bergen hinaufsteigen, desto kälter wird es. Unsere Atmosphäre ist wie eine wärmende Decke über die Erde hingebreitet; sie ist für die leuchtenden Wärmestrahlen der Sonne fast vollkommen durchsichtig, und lässt sie ohne merkliche Hinderung herein. Aber sie ist nicht gleich gut durchgängig für die dunklen Wärmestrahlen, welche, von den erwärmten irdischen Körpern ausgehend, wieder in den Weltraum zurückstreben. Diese werden von der atmosphärischen Luft verschluckt, namentlich da, wo sie feucht ist; dadurch erwärmt sich die Luftmasse selbst, und giebt die gewonnene Wärme nur langsam wieder in der Richtung nach dem freien Weltraume hin ab. Die Ausgabe der Wärme ist also verzögert im Verhältniss zur Einnahme, und dadurch wird ein gewisser Wärmevorrath längs der Erdoberfläche festgehalten. Ueber hohen Gebirgen aber ist die schützende Decke der Atmosphäre viel dünner, dort kann die ausstrahlende Wärme des Erdbodens viel schneller in den Weltraum zurück entweichen, dort ist also auch der aufgespeicherte Wärmevorrath und die Temperatur viel geringer als in der Tiefe.

Dazu kommt noch eine andere Eigenthümlichkeit der Luft,

welche in demselben Sinne wirkt. In einer Luftmasse nämlich, welche sich ausdehnt, verschwindet ein Theil ihres Wärmevorraths, sie wird kühler, wenn sie nicht neue Wärme von aussen aufnehmen kann. Umgekehrt wird durch erneutes Zusammendrücken der Luft dieselbe Wärmemenge wieder erzeugt, welche durch die Ausdehnung verschwunden war. Wenn also zum Beispiel Südwinde die warme Luft des Mittelmeers nach Norden treiben, und sie zwingen zur Höhe des grossen Gebirgswalls der Alpen hinaufzusteigen, wo sich die Luft, entsprechend dem geringeren durch das Barometer angezeigten Luftdrucke, etwa um die Hälfte ihres Volumens ausdehnt, so kühlt sie sich dabei auch sehr beträchtlich ab — für eine mittlere Höhe des Gebirges von 11000 Fuss um 16 bis 25° R. je nachdem sie feucht oder trocken ist — und dabei setzt sie auch gleichzeitig den grösseren Theil ihrer Feuchtigkeit als Regen oder Schnee ab. Kommt dieselbe Luft nachher auf der Nordseite des Gebirges als Föhnwind wieder in Thäler und Ebenen hinab, so wird sie wieder verdichtet und erwärmt sich auch wieder. Derselbe Luftstrom also, der in den Ebenen diesseits und jenseits des Gebirges warm ist, ist schneidend kalt auf der Höhe und kann dort Schnee absetzen, während wir ihn in der Ebene unerträglich heiss finden.

Die Temperaturabnahme nach der Höhe hin, welche durch diese beiden Ursachen bedingt wird, ist bekanntlich schon an den niedrigeren Bergketten unserer Nachbarschaft sehr merklich; sie beträgt im mittleren Europa etwa 1° R., wenn man 600 Fuss steigt; im Winter ist sie geringer, 1° auf 900 Fuss Steigung. In den Alpen werden die Temperaturunterschiede der grösseren Höhe entsprechend viel bedeutender, so dass auf den höheren Theilen ihrer Gipfel und Abhänge der im Winter gefallene Schnee während des ganzen Sommers nicht mehr schmilzt. Man nennt bekanntlich die Gränzlinie, oberhalb deren Schnee das ganze Jahr hindurch den Boden bedeckt, die Schneegränze; sie liegt an der Nordseite der Alpen, etwa in der Höhe von 8000 Fuss, an der Südseite in der Höhe von 8800 Fuss. Auch oberhalb der Schneegränze kann es an sonnigen Tagen recht warm sein; ja die ungeschwächte Strahlung der Sonne, noch verstärkt durch das vom Schnee zurückgeworfene Licht, wird oft ganz unleidlich, so dass der städtische Wanderer, abgesehen von der Blendung seiner Augen, gegen die er sich durch eine dunkle Brille oder einen Schleier schützen muss, gewöhnlich argen Sonnenbrand an Gesicht und Händen davonträgt, der entzündliche Schwellung der Haut

und grosse Blasen an ihrer Oberfläche hervorruft. Anmuthigere Zeugen für die Stärke des Sonnenscheins sind die gesättigten Farben und der starke Duft der kleinen Alpenblümchen, die in geschützten Felsspalten zwischen den Schneefeldern erblühen. Trotz der starken Strahlung der Sonne steigt übrigens die Temperatur der Luft über den Schneefeldern nur bis 5°, höchstens 8° R.; dies genügt jedoch, um einen ziemlichen Theil der oberflächlichen Schneeschichten zu schmelzen. Aber die warmen Stunden und Tage sind zu kurz, um die grossen Schneemassen, welche während der kühleren Zeiten gefallen sind, zu bewältigen. Die Höhe der Schneegränze hängt deshalb auch nicht allein von der Temperatur der Gebirgsabhänge ab, sondern wesentlich auch von der Menge des jährlichen Schneefalls. Sie liegt zum Beispiel an dem feuchtwarmen Südabhange des Himalayagebirges tiefer als auf dem viel kälteren, aber auch viel trockeneren Nordabhange desselben Gebirges. Entsprechend dem feuchten Klima des westlichen Europa ist der Schneefall auf den Alpen sehr gross, und deshalb auch die Zahl und Ausdehnung ihrer Gletscher verhältnissmässig bedeutend, so dass wenige Gebirge der Erde in dieser Beziehung mit ihnen verglichen werden können. Eine ähnliche Ausbildung der Eiswelt finden wir, so weit bekannt ist, nur noch auf dem Himalayagebirge, begünstigt durch die grössere Höhe, auf Grönland und im nördlichen Norwegen wegen des kälteren Klimas, auf einigen Inseln, Island und Neuseeland, wegen der grösseren Feuchtigkeit.

Die Orte über der Schneegränze sind also dadurch charakterisirt, dass der Schnee, welcher im Laufe des Jahres auf ihre Fläche fällt, während des Sommers nicht ganz wegschmilzt, sondern zum Theil liegen bleibt. Dieser Schnee, welchen ein Sommer zurückgelassen hat, wird vor weiterer Einwirkung der Sonnenwärme geschützt dadurch, dass der nächste Herbst, Winter und Frühling neue Schneemassen über ihn ausschütten. Auch von diesem neuen Schnee lässt der nächste Sommer einen Rest übrig, und so häuft Jahr auf Jahr neue Schneeschichten über einander. Wo eine solche Schneeanhäufung an einem jähen Absturze endet und ihr inneres Gefüge dadurch freigelegt ist, erkennt man auch leicht die regelmässig über einander gelagerten Jahresschichten.

Es ist aber klar, dass diese Aufhäufung von einer Schneeschicht über der anderen nicht in das Unendliche so fort gehen kann, sonst würde die Höhe der Schneegipfel Jahr für Jahr ohne Aufhören wachsen müssen. Je mehr aber der Schnee sich auf-

thürmt, desto steiler werden seine Abhänge, desto grösser das Gewicht, welches auf den unteren älteren Schichten lastet und diese fortzudrängen strebt. Schliesslich muss nothwendig ein Zustand entstehen, wo die Schneeabhänge zu steil sind, als dass noch neuer Schnee an ihnen liegen bleiben kann, und wo die Last, welche die unteren Schichten nach abwärts drängt, zu gross ist, als dass diese auf den geneigten Abhängen des Gebirges sich in ihrer Lage erhalten könnten. So wird also ein Theil des Schnees, der ursprünglich auf den hochgelegenen Theilen des Gebirges oberhalb der Schneegränze gefallen und dort vor Schmelzung geschützt war, gezwungen werden, seine ursprüngliche Lagerungsstätte zu verlassen und sich einen neuen Platz zu suchen, den er jetzt natürlich nur noch unterhalb der Schneegränze auf den tieferen Theilen der Gebirgsabhänge und namentlich in den Thälern finden kann. Hier aber dem Einflusse einer wärmeren Luft ausgesetzt, schmilzt er endlich und fliesst als Wasser davon. Die Herabbewegung der Schneemassen von ihrer ursprünglichen Lagerungsstätte geschieht zuweilen plötzlich, in Lavinenstürzen, gewöhnlich aber sehr allmälig in den Gletschern.

Demgemäss haben wir zwei verschiedene Theile der Eisfelder zu unterscheiden, nämlich erstens den ursprünglich gefallenen Schnee, in der Schweiz Firn genannt, oberhalb der Schneegränze, die Abhänge der Gipfel bedeckend, so weit er an ihnen haften kann, und die oberen weiten kesselförmigen Enden der Thäler in weit gedehnten Schneefeldern oder Firnmeeren ausfüllend. Zweitens haben wir die Gletscher, in Tyrol Ferner genannt, welche als Verlängerungen der Firnmeere nach unten oft 4000 bis 5000 Fuss unter die Schneegränze hinabreichen, und in denen der lockere Schnee der Firnmeere in durchsichtiges festes Eis verwandelt sich wiederfindet. Daher der Name Gletscher, vom lateinischen *glacies*, französisch *glace*, *glacier*, abstammend.

Die äussere Erscheinung der Gletscher wird sehr bezeichnend durch den schon von Goethe angewendeten Vergleich mit Strömen von Eis beschrieben. Sie ziehen sich von den Firnmeeren aus in der Regel längs der Tiefe der von dort herabsteigenden Thäler hin, indem sie diese in ganzer Breite und oft bis zu ziemlicher Höhe mit Eis füllen. Sie folgen dabei allen Krümmungen, Windungen, Verengerungen und Erweiterungen des Thals. Häufig stossen zwei Gletscher zusammen, deren Thäler sich vereinigen. Da vereinigen sich dann auch die beiden Eisströme in einen gemeinsamen Hauptstrom, der das gemeinsame Thal füllt. An ein-

zelnen Stellen zeigen diese Eisströme eine ziemlich ebene und zusammenhängende Oberfläche, meist sind sie aber von Spalten durchzogen, und sowohl über die Oberfläche wie durch die Spalten rieseln unzählige grosse und kleine Wasseräderchen, die das durch Schmelzung des Eises gebildete Wasser abführen. Dieselben brechen zu einem Bache vereinigt am unteren Ende der grösseren Gletscher durch ein hohes gewölbtes und prachtvoll blaues Eisthor hervor.

Auf der Oberfläche des Eises pflegt eine grosse Menge von Steinblöcken und Steinschutt zu liegen, die sich namentlich längs der Seitenränder und am unteren Ende der Gletscher zu mächtigen Wällen aufthürmen, welche man die Seiten- und Endmoränen des Gletschers nennt. Andere Steinwälle, die Mittelmoränen oder Gufferlinien, ziehen sich als lange regelmässige dunkle Linien über die Oberfläche der Gletscher in Richtung ihrer Länge hin Sie laufen stets von solchen Punkten aus, wo zwei Gletscherströme zusammentreffen und sich vereinigen. Die Mittelmoränen sind an solchen Stellen die Fortsetzungen der vereinigten Seitenmoränen der beiden Gletscher.

Die Bildung der Mittelmoränen wird sehr anschaulich an der beifolgenden Ansicht des Unteraargletschers Fig. 13. Im Hinter-



Fig. 13.



grunde sieht man die zwei aus verschiedenen Thälern, rechts vom Schreckhorn, links vom Finsteraarhorn herkommenden Gletscherströme. Von ihrer Vereinigungsstelle zieht sich der die Mitte des Bildes einnehmende Steinwall als Mittelmoräne herab. Links sieht man einzelne grosse Steinblöcke auf Eispfeilern getragen, sogenannte Gletschertische.

Um Ihnen eine Uebersicht dieser Verhältnisse an einem weiteren Beispiele zu geben, lege ich Ihnen in Fig. 14 (a. f. S.) eine Karte des Eismeers von Chamouni vor, nach der von Forbes copirt.

Das Eismeer ist bekanntlich seiner Masse nach der grösste unter den Gletschern der Schweiz, wenn es an Länge auch vom Aletschgletscher übertroffen wird. Es sammelt sich von den Schneefeldern der unmittelbar nördlich vom Montblanc gelegenen Berge, von denen mehrere wie die Graude Jorasse, die Aiguille Verte (*a* Fig. 14 u. 15), die Aiguille du Géant (*b*), Aiguille du Midi (*c*) und die Aiguille du Dru (*d*) nur 2000 bis 3000 Fuss hinter jenem König der europäischen Berge zurückbleiben. Die Schneefelder, welche an den Abhängen und in den Thalkesseln zwischen diesen Bergen liegen, sammeln sich in drei Hauptströme, den Glacier du Géant, Gl. de Léchaud und Gl. du Talèfre, welche schliesslich zusammenfliessend, wie es die Karte zeigt, das Eismeer bilden, welches sich als ein 2600 bis 3000 Fuss breiter Eisstrom bis in das Thal von Chamouni hinabzieht, wo aus seinem unteren Ende bei *k* ein starker Bach, der Arveyron, hervorbricht, der sich in die Arve ergiesst. Der unterste Absturz des Eismeers, der vom Thale von Chamouni aus sichtbar ist und eine gewaltige Eiscascade bildet, wird gewöhnlich Glacier des Bois genannt, nach einem unten liegenden Dörfchen.

Die meisten Besucher von Chamouni betreten nur den untersten Theil des Eismeers von dem Wirthshause des Montanvert aus (*m* Fig. 14) und kreuzen, wenn sie schwindelfrei sind, den Gletscher an dieser Stelle, um zu dem gegenüberliegenden Häuschen des Chapeau (*n*) zu gelangen. Obgleich man dabei, wie die Karte zeigt, nur einen verhältnissmässig sehr kleinen Theil des Gletschers übersieht und beschreitet, so lehrt dieser Weg doch sowohl die grossartigen Scenen, als auch die Schwierigkeiten einer Gletscherwanderung genügend kennen. Kühnere Wanderer beschreiten den Gletscher nach aufwärts bis zu dem Jardin (*e*), einer mit etwas Vegetation überkleideten Felsenklippe, welche den Eisstrom des Glacier du Talèfre in zwei Arme theilt, oder steigen

auch wohl noch kühner bis zum Col du Géant (11000 Fuss über dem Meere) empor und nach der italienischen Seite hinab in das Thal von Aosta.

Fig. 14.



Die Oberfläche des Eismeers zeigt vier von den als Mittelmoränen bezeichneten Steinwällen. Die erste, der östlichen Seite des Gletschers am nächsten, entsteht, wo sich am unteren Ende des Jardin die beiden Arme des Glacier du Talèfre vereinigen; die zweite geht aus von der Vereinigung des genannten Gletschers mit dem Glacier de Léchaud, die dritte von der Vereinigung des letztern mit dem Glacier du Géant, die vierte endlich von der Spitze des von der Aiguille du Géant nach der Cascade (*g*) des Glacier du Géant herablaufenden Felsenriffs.

Um Ihnen eine Anschauung von der Neigung und dem Gefälle des Gletschers zu geben, habe ich in Fig. 15 einen Längsschnitt desselben nach den Nivellements und Messungen von

Forbes construirt, mit der Ansicht des rechten Ufers des Gletschers. Die Buchstaben bezeichnen dieselben Objecte, wie in Fig. 14; p ist die Aiguille de Léchaud, q die Aiguille Noire, r der Mont Tacul; f ist der Col du Géant, der niedrigste Punkt in der hohen Felsenmauer, welche das obere Ende der zum Eismeer beitragenden Schneefelder umzieht. Die Basis der Zeichnung entspricht einer Länge von zwei deutschen Meilen, am rechten Ende sind die Höhen über dem Meere in englischen Fussen angegeben. Die Zeichnung zeigt sehr deutlich, wie gering an den meisten Stellen das Gefälle des Gletschers ist. Die Tiefe desselben musste freilich nach ungefährer Schätzung bestimmt werden, denn über diese weiss man bisher leider nichts Sicheres. Nur dass es sehr tief sei, geht aus folgenden vereinzelten und zufälligen Beobachtungen hervor.

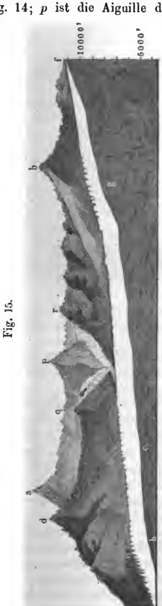


Fig. 15.

Am Ende einer vertikalen Felswand des Tacul schiebt sich der Rand des Glacier du Géant mit einer senkrechten Eiswand von 140 Fuss Höhe hervor. Dadurch wäre die Tiefe eines der oberen Arme des Gletschers am Rande gegeben. In der Mitte und nach der Vereinigung der drei Gletscher muss die Tiefe viel grösser sein. Etwas unterhalb der Vereinigungsstelle sondirten Tyndall und Hirst in einem Moulin, d. h. in einer Höhlung, durch welche die oberflächlichen Gletscherwasser in die Tiefe

strömen, bis zu 160 Fuss Tiefe; die Führer behaupteten, in einer ähnlichen Oeffnung einmal bis zu 350 Fuss Tiefe sondirt zu haben; aber in keinem Falle wurde der Boden des Gletschers erreicht. Auch erscheint es bei der gewöhnlich tief muldenförmigen oder spaltenförmigen Bodenform der nur von Felswänden gebildeten Thäler unwahrscheinlich, dass auf 3000 Fuss Breite die mittlere Tiefe nur 350 Fuss sein sollte, sowie denn auch die Bewegungsweise des Eises erfordert, dass unter dem gespaltenen Theile desselben noch eine sehr mächtige zusammenhängende Schicht sei.

Um diese Grössenverhältnisse an bekannteren Gegenständen anschaulicher zu machen, so denken Sie sich das Thal von Heidelberg mit Eis gefüllt bis zur Molkenkur hinauf, oder höher, so dass die ganze Stadt mit ihren Thürmen und das Schloss tief darunter begraben liegen; denken Sie sich ferner diese Eismasse von der Mündung des Thals in allmälig ansteigender Höhe aufwärts bis Neckargemünd fortgesetzt, so würde das etwa dem unteren vereinigten Eisstrom des Mer de Glace entsprechen.

Oder denken Sie sich statt des Rheins und der Nahe bei Bingen zwei Eisströme sich vereinigend, die das Rheinthal bis zu seinem oberen Rande erfüllen, so weit man vom Flusse aus hinaufblicken kann, und dann den vereinigten Strom abwärts ziehend bis über Asmannshausen und Burg Rheinstein hinaus; ein solcher Strom würde ebenfalls der Grösse des Eismeers etwa entsprechen.

Von der Mächtigkeit der Eismassen der grösseren Gletscher giebt auch die Ansicht Fig. 16 von dem unteren Ende des gewaltigen Gornergletschers bei Zermatt ein Bild.

Die Oberfläche der meisten Gletscher ist ziemlich schmutzig von den vielen Steinchen und Steinstaub, die darauf liegen und sich immer mehr zusammendrängen, je mehr das Eis unter und zwischen ihnen abschmilzt. Das Eis der Oberfläche ist durch Schmelzung halb zerstört und bröcklig geworden. In der Tiefe der Spalten aber erblickt man Eis von einer Reinheit und Klarheit, mit dem nichts verglichen werden kann, was wir von Eis im ebenen Lande zu sehen bekommen. Wegen seiner Reinheit zeigt es ein prachtvolles Blau, welches nur ein wenig grünlicher ist als das des blauen Himmels. Spalten, in denen das reine Eis des Inneren sichtbar wird, kommen in jeder Grösse vor; sie entstehen als schmale Risse, in die man kaum ein Messer hineinstecken kann, sie erweitern sich dann allmälig zu Schlünden, die viele hundert oder selbst tausend Fuss lang, zwanzig, fünfzig,

selbst hundert Fuss breit, und zum Theil unabsehbar tief sind. Ihre vertikalen, tiefblauen, von herabträufelndem Wasser feucht-

Fig. 16.



glänzenden Wände aus krystallklarem Eise bilden eines der prachtvollsten Schauspiele, welches die Natur uns darbietet, aber freilich ein Schauspiel, stark gewürzt mit dem aufregenden Interesse der Gefahr, und nur zu geniessen für Wanderer, die sich vollkommen frei von jeder Anwandlung von Schwindel fühlen. Man muss eben mit Hülfe scharf genagelter Schuhe und eines spitzen Alpenstocks auch auf schlüpfrigem Eise und am Rande eines senkrechten Absturzes, dessen Fuss sich im Dunkel der Nacht und in unbekannter Tiefe verliert, fest zu stehen wissen. Auch kann man solchen Spalten nicht immer aus dem Wege gehen, wenn man Gletscher überschreiten will; auf dem unteren Theile des Eismeers zum Beispiel, wo es von den Reisenden gewöhnlich überschritten wird, ist man gezwungen auf schmalen, zum Theil ziemlich abschüssigen Banken von Eis entlang zu schreiten, die zuweilen nur vier oder sechs Fuss breit sind und auf jeder Seite solch einen blauen Schlund neben sich haben. Schon mancher Wanderer, der an steilen Felsabhängen ohne Furcht entlang spaziert war, hat dort das Herz sinken gefühlt, und durfte sich doch nicht erlauben, sein Auge von den gähnenden Abgründen abzuwenden, da er jeden Tritt für seine Füsse

vorher erst sorgfältig auswählen musste. Und dabei sind diese blauen Schlünde, wo sie offen zu Tage liegen, noch lange nicht die schlimmsten Gefahren des Gletschers, obgleich wir Menschen allerdings so organisirt sind, dass eine Gefahr, die wir sehen, und die wir eben deshalb auch sicher vermeiden können, uns mehr schreckt, als eine andere, von der wir zwar wissen, dass sie da ist, die aber durch einen leichten Schleier unseren Augen verhüllt ist. So ist es auch mit den Gletscherschlünden. Im unteren Theile der Gletscher gähnen sie uns Tod und Verderben drohend an und machen, dass wir scheu zurückweichend alle unsere Besonnenheit zusammen nehmen, um ihnen zu entgehen; dort kommen wohl kaum Unglücksfälle vor. Auf den oberen Theilen der Gletscher dagegen ist die Oberfläche mit Schnee bedeckt; dieser wölbt sich, wenn er tief fällt, auch bald über die engeren Spalten von vier bis acht Fuss Breite fort, und bildet Brücken, die den Spalt vollständig verhüllen, so dass der Wanderer nur eine schöne ebene Schneefläche vor sich sieht. Sind die Schneebrücken dick genug, so tragen sie auch einen Menschen, aber sie sind es nicht immer, und das sind die Stellen, wo Menschen und selbst Gemsen so oft verunglücken. Das Mittel dieser Gefahr zu entgehen besteht bekanntlich darin, dass sich zwei oder drei Männer mit einem langen Strick aneinander binden, so dass sie in Zwischenräumen von zehn bis zwölf Fuss hinter einander einher gehen können. Stürzt einer in eine Spalte, so können die beiden anderen ihn halten und wieder herausziehen.

An einzelnen Orten kann man auch in die Spalten hineinsteigen, namentlich am unteren Ende der Gletscher. An den viel besuchten Gletschern von Grindelwald, Rosenlaui und anderen pflegt man das den Reisenden dadurch zu erleichtern, dass Stufen gehauen und Bretter hineingelegt sind. Da kann man denn weit in die Spalten vordringen, wenn man das fortdauernd herabtriefende Wasser nicht fürchtet, und die wunderbar durchsichtigen und reinen Krystallwände dieser Höhlen bewundern. Die schöne blaue Farbe, welche sie zeigen, ist die natürliche Farbe des ganz reinen Wassers; das flüssige Wasser wie das Eis ist blau gefärbt, aber ausserordentlich wenig, so dass die Farbe nur an Schichten von zehn oder mehr Fuss Dicke sichtbar wird. Das Wasser des Genfer Sees und des Garda-Sees zeigt dieselbe prachtvolle Farbe wie das Eis.

Nicht überall sind die Gletscher gespalten; wo das Eis gegen ein Hinderniss andrängt, und auch in der Mitte grosser sich

gleichmässig hinziehender Gletscherströme ist die Oberfläche ganz zusammenhängend. Eine der ebeneren Stellen des Eismeers beim Montanvert, dessen Häuschen im Hintergrunde sichtbar ist, zeigt Fig. 17. Den Griesgletscher, wo er die Passhöhe zwischen dem obern Rhonethale und dem Tosathale bildet,

Fig. 17.



kann man sogar zu Pferde überschreiten. Die grösste Zerrissenheit der Gletscherfläche finden wir dagegen an solchen Stellen, wo der Gletscher von einer wenig geneigten Stelle seines Bettes auf eine stärker geneigte übergeht. Da zerreisst dann das Eis nach allen Richtungen in eine Menge einzelner Blöcke, die durch Abschmelzen gewöhnlich in sonderbar geformte spitze Riffe und Pyramiden verwandelt werden, und von Zeit zu Zeit mit mächtigem Gepolter in die zwischenliegenden Spalten hinabstürzen. Von Weitem sieht eine solche Stelle wie ein wilder gefrorener Wasserfall aus, und wird deshalb auch Cascade genannt, eine solche Cascade zeigt der Glacier du Talèfre bei *l*, eine der Gla-

cier du Géant bei *g* Fig. 14, und eine dritte bildet das untere Ende des Eismeers. Diese letztere, der schon genannte Glacier des Bois, welche von der Thalsohle von Chamouni unmittelbar zur Höhe von 1700 Fuss sich erhebt, der Höhe des Königstuhls bei Heidelberg, ist immer ein Hauptgegenstand der Bewunderung für die Chamounifahrer. Eine Ansicht seiner wild zerrissenen Eisblöcke giebt Fig. 18.

Fig. 18.



Wir haben bisher die Gletscher ihrer äusseren Form und Erscheinung nach mit einem Strome verglichen; diese Aehnlichkeit ist aber nicht nur eine äusserliche, sondern das Eis des Gletschers bewegt sich in der That vorwärts, ähnlich dem Wasser in einem Strome, nur langsamer. Dass dies geschehen müsse, geht schon aus den Betrachtungen hervor, durch die ich Ihnen die Entstehung eines Gletschers zu erläutern versuchte. Da nämlich das Eis seines unteren Endes durch Schmelzung fortdauernd vermindert wird, so müsste es bald ganz schwinden, wenn nicht fort-

dauernd neue Masse von oben her nachrückte, welche selbst durch die Schneefälle auf den Firnmeeren immer wieder neu ergänzt wird.

Aber wir können uns von der Bewegung der Gletscher bei sorgfältiger Beobachtung auch durch das Auge überzeugen. Zuerst hat sie sich den Bewohnern des Thals, die solchen Gletscher immer vor Augen haben, ihn oft überschreiten und um ihren Weg zu finden, die grösseren auf ihm liegenden Steinblöcke als Merkzeichen benutzen, dadurch verrathen, dass diese Wegzeichen im Laufe jedes Jahres merklich nach abwärts wandern. Da auf der unteren Hälfte des Eismeers von Chamouni zum Beispiel das jährliche Fortrücken 400 bis 600 Fuss beträgt, so begreifen Sie, dass solche Verschiebungen trotz der Langsamkeit, mit der sie erfolgen, und trotz der chaotischen Verwirrung von Eisspalten und Steinmassen, die auf dem Gletscher herrscht, doch am Ende bemerkt werden müssen.

Ausser den Steinen werden auch andere Gegenstände, welche zufällig auf den Gletscher geriethen, mit fortgeschleppt. Im Jahre 1788 brachte der berühmte Genfer Naturforscher Saussure mit seinem Sohne und einer Caravane von Trägern und Führern sechszehn Tage auf dem Col du Géant zu; beim Herabsteigen an den Felsen zur Seite der Cascade des Glacier du Géant (*g* Fig. 19) liessen sie eine hölzerne Leiter dort zurück. Es war dies die Stelle am Fusse der Aiguille Noire, wo die vierte Gufferlinie des Eismeers beginnt; diese Linie bezeichnet gleichzeitig die Richtung, in welcher das Eis von dieser Stelle aus fortwandert. Im Jahre 1832, also 44 Jahre später, wurden Bruchstücke dieser Leiter von Forbes und anderen Reisenden nicht weit unterhalb des Vereinigungspunktes der drei Gletscher des Eismeeres in der genannten Gufferlinie, bei *s* Fig. 19 (a. f. S.), gefunden, woraus sich ergab, dass jene Theile des Gletschers in jedem Jahre im Mittel 375 Fuss abwärts gewandert waren.

Im Jahre 1827 hatte sich Hugi auf der Mittelmoräne des Unter-Aargletschers eine Hütte gebaut, um dort Beobachtungen anzustellen; der Ort dieser Hütte wurde von ihm selbst und später von Agassiz wieder bestimmt, und sie fand sich jedes Jahr weiter abwärts geschoben; 14 Jahre später, im Jahre 1841 stand sie 4884 Fuss tiefer, hatte also in jedem Jahre im Durchschnitt 349 Pariser Fuss zurückgelegt. Eine etwas geringere Bewegung fand Agassiz nachher an seiner eigenen Hütte, die er auf demselben Gletscher anlegte. Für die bisher erwähnten

Beobachtungen war eine lange Zwischenzeit nöthig. — Beobachtet man aber die Bewegung der Gletscher mit genauen Messinstru-

Fig. 19.



menten, zum Beispiel mit Theodolithen, wie sie die Feldmesser bei Vermessungen anwenden, so braucht man nicht Jahre zu warten, um die Bewegung des Eises zu erkennen, sondern ein einziger Tag genügt.

Dergleichen Beobachtungen sind in neuerer Zeit von mehreren Beobachtern, namentlich von Forbes und Tyndall angestellt worden. Danach rückt die Mitte des Eismeers im Sommer mit einer Geschwindigkeit von 20 Zoll auf den Tag vor, die gegen die untere Endcascade hin sich bis auf 35 Zoll täglich steigert. Im Winter ist die Geschwindigkeit etwa nur halb so gross. An den Seitenrändern des Gletschers und in seinen tieferen Schichten ist sie wie bei einem Wasserflusse ebenfalls beträchtlich kleiner als in der Mitte seiner Oberfläche.

Auch die oberen Zuflüsse des Eismeers haben eine geringere Bewegung; der Glacier du Géant von 13 Zoll täglich, der Glacier du Léchaud von 9½ Zoll. In verschiedenen Gletschern ist überhaupt die Geschwindigkeit im Allgemeinen sehr verschieden, je nach ihrer Grösse, ihrer Neigung, der Masse des Schneefalls und anderen Umständen.

So rückt also eine solche ungeheure Eismasse vor, ganz allmälig und leise, dem flüchtigen Beobachter nicht merklich, Stunde für Stunde etwa einen Zoll — 120 Jahre braucht das Eis des Col du Géant, um das untere Ende des Eismeers zu erreichen —, aber dabei schreitet es vorwärts mit einer unaufhaltsamen Gewalt, vor welcher Hindernisse, welche Menschen ihr entgegensetzen könnten, wie Strohhalme zerknicken, und deren Spuren, wie wir nachher sehen werden, selbst die granitenen Felswände des Thales deutlich erkennbar an sich tragen. Wenn nach einer Reihe feuchter Jahre bei reichlichem Schneefall in der Höhe das untere Ende eines Gletschers vorrückt, so drückt es nicht nur gelegentlich menschliche Wohnungen ein, und bricht kräftige Baumstämme ab, sondern auch die aus colossalen Steinblöcken aufgethürmten Wälle seiner Endmoräne, die ganz ansehnliche Hügelreihen bilden, schiebt der Gletscher vor sich her, ohne von ihnen scheinbar einen irgend in Betracht kommenden Widerstand zu erfahren.

Ein wahrhaft grossartiges Schauspiel diese Bewegung, so leise, so stetig und so unwiderstehlich und gewaltig!

Erwähnen will ich hier nur noch, dass sich aus der beschriebenen Bewegungsweise der Gletscher auch leicht ergiebt, an welchen Orten und in welchen Richtungen sich Spalten bilden müssen. Da nämlich nicht alle Schichten des Gletschers gleich schnell vorwärts schreiten, so bleiben einige Punkte desselben gegen andere zurück, zum Beispiel die Ränder gegen die Mitte. Dadurch wächst fort und fort die Entfernung eines beliebigen am Rande gelegenen Punktes von einem Punkte der Mitte, der anfangs mit ihm in gleicher Höhe lag, nachher aber sich schneller abwärts bewegt, und da das Eis zwischen je zwei solchen Punkten sich nicht ihrer wachsenden Entfernung entsprechend dehnen kann, zerreisst es und bildet Spalten, wie sie die in Fig. 20 gegebene Abbildung des Gornergletschers bei Zermatt längs des Randes des Gletschers sehen lässt. Es würde zu weit führen, wollte ich Ihnen die Erklärung für die Bildung der einzelnen regelmässigeren Spaltensysteme, wie sie sich an gewissen Stellen aller

Gletscher zu entwickeln pflegen, hier im Einzelnen geben; es mag genügen zu erwähnen, dass die Folgerungen aus den angegebenen Betrachtungen mit den Beobachtungen an den Gletschern gut übereinstimmen.

Fig. 20.



Nur will ich noch darauf aufmerksam machen, wie ausserordentlich kleine Verschiebungen genügen, um das Eis Hunderte von Spalten bilden zu machen. Der Querschnitt des Eismeers (Fig. 21 bei *g*, *c*, *h*) zeigt Ihnen Stellen, wo eine kaum merkliche Aenderung in der Neigung der Oberfläche des Eises vorkommt, von 2 bis 4 Winkelgraden. Diese genügt, um ein System quer laufender Spalten an der Oberfläche hervorzubringen. Tyndall namentlich hat es hervorgehoben und durch Rechnungen und Messungen bestätigt, dass die Eismasse der Gletscher nicht im allergeringsten Maasse nachgiebig gegen Dehnung ist, sondern unter dem Einflusse einer solchen stets auseinander reisst.

Auch die Vertheilung der Steine auf der Oberfläche der Gletscher erklärt sich leicht, wenn wir ihre Bewegung berücksichtigen. Diese Steine sind Trümmer der Berge, zwischen denen der Glet-

scher fliesst. Theils durch Verwitterung des Gesteins, theils durch Gefrieren des Wassers in seinen Spalten abgesprengt, fallen sie, und zwar meist auf den Rand der Eismasse. Dort bleiben sie entweder gleich auf der Oberfläche liegen, oder wenn sie sich auch anfangs tief in den Schnee einwühlen, kommen sie doch schliesslich durch Abschmelzen der oberflächlichen Lagen des Eises und des Schnees wieder zu Tage, und drängen sich namentlich am untern Ende des Gletschers, wo das Eis zwischen ihnen mehr und mehr geschwunden ist, zusammen. Die Grösse der Blöcke, welche vom Eise allmälig herunter getragen werden zum unteren Ende des Gletschers, ist zum Theil ganz colossal. Es kommen solide Felsblöcke dieser Art in alten und neuen Endmoränen vor, von der Grösse eines zweistöckigen Hauses.

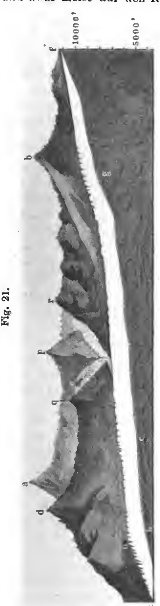


Fig. 21.

Die Steinblöcke bewegen sich fort in Linien, welche unter einander und der Längsrichtung des Gletschers immer nahehin parallel sind. Die also einmal in der Mitte des Eisstroms liegen, bleiben in der Mitte, die am Rande liegen, bleiben am Rande. Die letzteren sind die zahlreicheren, weil während des ganzen Laufes des Gletschers immer neue Steine auf den Rand, nicht aber auf die Mitte stürzen können. So bilden sich auf dem Rande der Eismasse die Seitenmoränen, deren Blöcke zum Theil sich mit dem Eise bewegen, theils aber herabgleiten und auf

dem festen Felsboden neben dem Eise liegen bleiben. Wenn aber zwei Gletscherströme sich vereinigen, dann kommen deren zusammenstossende Seitenmoränen auf die Mitte des vereinigten Eisstroms zu liegen, und rücken dann auf diesem, wie schon erwähnt wurde, als Mittelmoränen immer einander und den Ufern des Stromes parallel vorwärts, und zeigen bis zum untern Ende hin die Gränzlinie des Eises an, welches ursprünglich dem einen oder andern Gletscherarme angehörte. Sie sind sehr merkwürdig, weil sie zeigen, in wie regelmässigen parallelen Bändern die einzelnen neben einander liegenden Theile des Eisstroms nach abwärts gleiten. Ein Blick auf die Karte des Eismeers und dessen vier Mittelmoränen zeigt dies sehr deutlich.

Auf dem Glacier du Géant und seiner Fortsetzung im Eismeere zeichnen die auf der Oberfläche des Eises verstreuten Steine in abwechselnd graueren und weisseren Bändern eine Art von Jahresringen des Eises ab, die zuerst von Forbes bemerkt wurden. Dadurch dass in der Cascade bei g, Fig. 21, im Sommer mehr Eis herabgleitet, als im Winter, wird die Oberfläche des Gletschers unterhalb der Cascade terrassenförmig, wie die Zeichnung andeutet, und da die gegen Norden sehenden Abhänge dieser Terrassen weniger abschmelzen, als ihre oberen ebenen Flächen, so zeigen jene reineres Eis als diese. So entstehen wahrscheinlich diese Schmutzbänder nach Tyndall. Sie laufen zuerst ziemlich gestreckt quer über den Gletscher; indem aber nachher ihre Mitte schneller fortrückt als ihre Enden, so bekommen sie weiter unten eine bogenförmige Gestalt, die in der Karte Fig. 19 angedeutet ist. So zeigen sie dem Beschauer unmittelbar durch ihre Krümmung die verschiedene Geschwindigkeit, mit der das Eis in verschiedenen Stellen seines Stromlaufs vorrückt.

Eine besondere Rolle endlich spielen andere Steine, die in die untere Fläche der Eismasse eingebacken sind, und welche theils durch Spalten da hinabgestürtzt, theils vom Boden des Thales losgelöst sein mögen. Diese Steine nämlich werden mit dem Eise allmälig über den Boden des Gletscherthales hingeschoben, indem sie gleichzeitig durch die ungeheure Last des über ihnen ruhenden Eises gegen diesen Boden angepresst werden. Beide, die in das Eis eingebackenen Steine wie die Felsen des Bodens, sind gleich hart, werden aber durch ihre gegenseitige Reibung zu Staub zermalmt mit einer Gewalt, gegen welche jede menschliche Kraftleistung verschwindet. Das Product dieser Reibung ist ein äusserst feiner Steinstaub, der, vom Wasser fortge-

schwemmt, unten im Gletscherbach zum Vorschein kommt, und diesem in der Regel ein weissliches oder gelbliches, schlammiges Aussehen verleiht. Die Felsen des Thalbodens dagegen, an denen der Gletscher Jahr aus Jahr ein seine abreibende Kraft ausübt, werden abgeschliffen, wie von einer ungeheuren Polirmaschine. Sie bleiben zurück in Form von rundlichen glatt polirten Höckern, auf denen hier und da feine Kratzen von einzelnen härteren Steinen eingerissen sind. So sehen wir sie am Rande jetzt bestehender Gletscher zum Vorschein kommen, wenn deren Eismasse nach einer Reihe heisser und trockener Jahre sich etwas zurückzieht. Aber in viel grösserer Ansdehnung finden wir solche abgeschliffene Felsen als Reste alter riesiger Gletscher in den unteren Theilen vieler Alpenthäler. Namentlich im Thale der Aar, abwärts bis Meyringen, sind die hoch hinauf abgeschliffenen Felswände äusserst charakteristisch. Dort befinden sich auch die berühmten polirten Steinplatten, über welche der Weg führt, und die so glatt sind, dass man durch eingehauene Reifen es Menschen und Pferden hat ermöglichen müssen, sicher darüber zu gehen.

Neben diesen abgeschliffenen Felsen sind es auch alte Moränendämme und fortgeschleppte Steinblöcke, welche die ungeheure frühere Ausdehnung der Gletscher erkennen lassen. Die durch Gletscher fortgetragenen Steinblöcke unterscheiden sich von denen, die Wasser herabgewälzt hat, durch ihre ungeheure Grösse, durch die vollkommene Erhaltung aller ihrer Ecken, die nicht abgerollt sind, und endlich namentlich dadurch, dass sie vom Gletscher genau in derselben Reihenfolge neben einander abgelagert werden, wie die Felsarten, denen sie entnommen sind, oben im Gebirgskamm anstehen, während Wasserströme die Steine, die sie fortrollen, alle unter einander mischen.

Gestützt auf diese Kennzeichen sind die Geologen im Stande gewesen nachzuweisen, dass die Gletscher von Chamouni, vom Monte Rosa, vom Gotthard und den Berner Alpen ehemals durch das Thal der Arve, Rhone, Aare und des Rheins bis in den ebeneren Theil der Schweiz und bis zum Jura vordrangen, wo sie ihre Blöcke in der Höhe von mehr als 1000 Fuss über dem jetzigen Niveau des Neufchateller Sees abgelagert haben. Aehnliche Spuren alter Gletscher findet man auf den Gebirgen der britischen Inseln und der skandinavischen Halbinsel.

Auch das Treibeis der nordischen Meere ist Gletschereis; es wird von den Gletschern Grönlands in das Meer hineingeschoben, löst sich von der übrigen Eismasse des Gletschers los und

schwimmt davon. In der Schweiz finden wir in kleinerem Maassstabe solche Treibeisbildung auf dem kleinen Märjelensee, in den sich ein Theil der Eismassen des grossen Aletschgletschers hineinschiebt. Steinblöcke, die im Treibeis liegen, können grosse Reisen über das Meer machen. Wahrscheinlich ist die ungeheure Zahl von Granitblöcken, welche in der norddeutschen Ebene sich finden, und deren Granit den skandinavischen Gebirgen angehört, durch Treibeis hinübergetragen worden in derselben Zeitperiode, wo die Gletscher der europäischen Gebirge eine so ungeheure Ausdehnung hatten.

Ich muss mich leider begnügen mit diesen wenigen Andeutungen über die alte Geschichte der Gletscher, und zurückkehren zu den Vorgängen in den jetzigen Gletschern.

Aus den Thatsachen, die ich Ihnen vorgeführt habe, ergiebt sich, dass das Eis eines Gletschers langsam fliesst, ähnlich einem Strome einer sehr zähflüssigen Substanz, wie etwa Honig, Theer oder ein dicker Thonbrei. Die Eismasse gleitet nicht nur einfach über den Boden hin, wie ein fester Körper, der einen Abhang hinabrutscht, sondern sie biegt sich und verschiebt sich in sich selbst, und obgleich sie dabei auch über den Boden des Thals hingleitet, so werden doch die Theile, welche Boden und Wände des Thals berühren, durch die starke Reibung sichtlich aufgehalten; dagegen bewegt sich die Mitte der Oberfläche des Gletschers, welche dem Boden und den Wänden des Thales am fernsten ist, am schnellsten. Es waren zuerst Rendu, ein savoyischer Geistlicher, und der berühmte schottische Naturforscher Forbes, welche die Aehnlichkeit der Gletscher mit einem Strome zähflüssiger Substanz hervorhoben.

Sie werden nun verwundert fragen, wie ist es möglich, dass Eis, die sprödeste und zerbrechlichste aller bekannten festen Substanzen, im Gletscher gleich einer zähflüssigen Masse fliessen soll? und werden vielleicht geneigt sein, dies für eine der unnatürlichsten nnd abenteuerlichsten Behauptungen zu erklären, welche je von den Naturforschern aufgestellt worden ist. Ich will auch sogleich einräumen, dass die Naturforscher selbst nicht wenig in Verlegenheit gesetzt waren durch diese Ergebnisse ihrer Untersuchungen. Aber die Thatsachen waren da und liessen sich nicht wegläugnen. Wie diese Art von Bewegung des Eises aber zu Stande kommen könne, blieb lange durchaus räthselhaft, nm so mehr, da die bekannte Brüchigkeit des Eises sich auch in den Gletschern durch die zahlreichen Spaltenbildungen zeigte,

und, wie Tyndall richtig hervorhob, darin wieder ein wesentlicher Unterschied der Eisströme von dem Fluss der Lava, des Theers, des Honigs oder eines Schlammstroms liegt.

Die Lösung dieses wunderlichen Räthsels ergab sich — wie das in den Naturwissenschaften so oft vorkommt — aus scheinbar fernab liegenden Untersuchungen über die Natur der Wärme, welche eine der wichtigsten Errungenschaften der neueren Physik bilden, und gewöhnlich unter dem Namen der mechanischen Wärmetheorie zusammengefasst werden. Unter einer grossen Zahl von Folgerungen über die Beziehungen der verschiedensten Naturkräfte zu einander ergeben die Grundsätze der mechanischen Wärmetheorie auch gewisse Schlüsse über die Abhängigkeit des Gefrierpunktes des Wassers von dem Druck, dem Eis und Wasser ausgesetzt sind.

Wir bestimmen bekanntlich den einen festen Punkt unserer Thermometerscala, den wir den Gefrierpunkt oder Null Grad zu nennen pflegen, dadurch, dass wir das Thermometer in ein Gemisch von reinem Wasser und Eis setzen. Wasser kann — wenigstens wenn es mit Eis in Berührung ist — nicht weiter abgekühlt werden als bis zum Gefrierpunkte, ohne selbst zu Eis zu werden; Eis kann nicht höher erwärmt werden, als bis zum Gefrierpunkte, ohne zu schmelzen. Eis und Wasser neben einander können also nur bei der einzigen festen Temperatur von 0° bestehen.

Sucht man ein solches Gemisch zu erwärmen durch eine untergesetzte Flamme, so schmilzt das Eis, aber die Temperatur des Gemisches wird durch die zugeleitete Wärme nicht über 0° erhöht, so lange noch etwas Eis ungeschmolzen ist. Durch die zugeleitete Wärme wird also Eis von 0° in Wasser von 0° verwandelt, während für das Thermometer keine merkliche Temperaturerhöhung eingetreten ist. Die Physiker sagen deshalb, die zugeleitete Wärme sei latent geworden, und Wasser von 0° enthalte eine gewisse Menge latenter Wärme mehr als Eis von derselben Temperatur.

Umgekehrt, wenn wir dem Gemische von Eis und Wasser noch weiter Wärme entziehen, so gefriert allmälig das Wasser, aber so lange noch etwas ungefrorenes Wasser da ist, bleibt die Temperatur von 0° bestehen. Das Wasser von 0° hat dabei seine latente Wärme abgegeben und ist in Eis von 0° übergegangen.

Ein Gletscher ist nun eine Eismasse, welche überall mit Wasseräderchen durchrieselt ist, und deshalb in ihrem Innern überall die Temperatur des Gefrierpunktes hat. Selbst die tieferen

Schichten der Firnmeere scheinen auf den Höhen, die in unserer Alpenkette vorkommen, überall dieselbe Temperatur zu haben. Denn wenn auch der frisch gefallene Schnee jener Höhen meist kälter als 0° sein mag, so schmelzen die ersten Stunden warmen Sonnenscheins seine Oberfläche und bilden Wasser, welches in die tieferen kälteren Schichten einsickert, und in diesen so lange wieder gefriert, bis sie durch und durch auf die Temperatur des Gefrierpunktes gebracht worden sind. Diese Temperatur bleibt dann unveränderlich dieselbe. Denn durch die warmen Sonnenstrahlen kann die Oberfläche des Eises wohl abgeschmolzen, aber nicht über 0° erwärmt werden, und die Winterkälte dringt in die schlecht wärmeleitenden Schnee- und Eismassen nicht tief ein, ebenso wenig wie in unsere Keller. Somit behält das Innere der Firnmeere wie der Gletscher unveränderlich die Temperatur des Gefrierpunktes.

Aber die Temperatur des Gefrierpunktes des Wassers kann durch starken Druck verändert werden. Es wurde dies zuerst von James Thomson in Belfast und fast gleichzeitig von Clausius in Zürich aus der mechanischen Wärmetheorie gefolgert, und es konnte sogar die Grösse dieser Veränderung mittels derselben Schlüsse richtig vorausgesagt werden. Es sinkt nämlich für den Druck je einer Atmosphäre der Gefrierpunkt um $^1/_{144}$ eines Reaumur'schen Grades. Der Bruder des erstgenannten, W. Thomson, der berühmte Physiker von Glasgow, bestätigte durch den Versuch die Folgerung aus der Theorie, indem er ein Gemisch von Eis und Wasser in einem passenden festen Gefässe comprimirte. Dasselbe wurde in der That kälter und kälter, je mehr er den Druck steigerte, und zwar genau um so viel, als die mechanische Wärmetheorie verlangte.

Wenn nun unter Einwirkung des Druckes ein Gemisch von Wasser und Eis kälter wird, als es vorher war, ohne dass ihm doch dabei Wärme entzogen wird, so kann das nur geschehen, indem freie Wärme latent wird, das heisst, indem etwas Eis in dem Gemische schmilzt und zu Wasser wird. Darin liegt auch der Grund, dass mechanischer Druck auf den Gefrierpunkt einwirken kann. Sie wissen, dass Eis mehr Raum einnimmt, als das Wasser, aus dem es entsteht. Wenn Wasser in einem verschlossenen Gefässe gefriert, so sprengt es ja bekanntlich nicht nur gläserne Flaschen, sondern selbst eiserne Bomben. Dadurch also, dass in dem zusammengepressten Gemische von Eis und Wasser etwas Eis schmilzt und zu Wasser wird, verringert sich

das Volumen der Masse, und die Masse kann dem Drucke, der auf ihr lastet, mehr nachgeben, als sie ohne eine solche Veränderung des Gefrierpunktes gekonnt hätte. Der mechanische Druck begünstigt hier, wie dies meistentheils bei der Wechselwirkung verschiedener Naturkräfte gegen einander zu geschehen pflegt, das Eintreten einer solchen Veränderung, nämlich der Schmelzung, welche der Entfaltung seiner eigenen Wirksamkeit günstig ist.

Bei dem erwähnten Versuche von W. Thomson war Wasser und Eis zusammen in einem festen Gefässe eingeschlossen, aus dem nichts entweichen konnte. Etwas anders gestaltet sich die Sache, wenn, wie das auch in den Gletschern der Fall ist, das zwischen dem zusammengepressten Eise befindliche Wasser durch Spalten entweichen kann. Dann wird zwar das Eis gepresst, aber nicht das Wasser, welches ausweicht. Das gepresste Eis wird dann kälter, entsprechend der Erniedrigung seines Gefrierpunktes durch den Druck, aber der Gefrierpunkt des Wassers, welches nicht zusammengepresst wird, wird nicht erniedrigt. So haben wir unter diesen Umständen Eis kälter als 0° in Berührung mit Wasser von der Temperatur 0°. Die Folge davon wird sein, dass fortdauernd rings um das gepresste Eis Wasser gefriert und neues Eis bildet, während dafür ein Theil des gepressten Eises fortschmilzt.

Dies geschieht zum Beispiel schon, wenn nur zwei Eisstücke an einander gepresst werden; dabei werden sie durch das an ihrer Berührungsfläche gefrierende Wasser fest mit einander vereinigt, und in ein zusammenhängendes Stück Eis vereinigt. Bei starkem Druck, der das Eis auch stärker erkältet, geschieht dies schnell, aber auch bei sehr schwachem Drucke kann es geschehen, wenn man nur lange genug wartet. Faraday, der dieses Phänomen entdeckt hat, nannte es Regelation des Eises; über die Erklärung desselben ist viel gestritten worden; ich habe Ihnen hier diejenige vorgetragen, welche ich für die genügendste halte.

Dieses Zusammenfrieren zweier Eisstücke bringt man sehr leicht zu Stande mit zwei beliebig gestalteten Stücken, die aber nicht kälter als 0° sein dürfen, am besten wenn sie schon im Schmelzen begriffen sind*). Man braucht sie nur wenige Augenblicke hindurch kräftig an einander zu pressen, so haften sie an

*) In der Vorlesung wurde eine Reihe kleiner Eiscylinder, die nach einer später zu beschreibenden Methode erzeugt waren, mit ihren ebenen Endflächen auf einander gepresst, und so ein cylindrischer Stab von Eis erzeugt.

einander. Je ebener die sich berührenden Flächen sind, desto fester verschmelzen sie mit einander. Aber selbst sehr geringer Druck genügt, wenn man die beiden Eisstücke sehr lange Zeit in gegenseitiger Berührung lässt *).

Die genannte Eigenschaft des schmelzenden Eises wird auch von den Knaben ausgebeutet, wenn sie Schneebälle und Schneemänner machen. Es ist bekannt, dass dies nur gelingt, wenn der Schnee entweder schon im Schmelzen begriffen ist, oder wenigstens nur so wenig kälter als 0° ist, dass er durch die Wärme der Hand leicht bis zu der genannten Temperatur erwärmt werden kann. Sehr kalter Schnee ist ein trocknes loses Pulver und haftet nicht zusammen.

Was nun Kinder, welche Schneebälle machen, im Kleinen thun, das geht im allergrössesten Maassstabe in den Gletschern vor sich. Die tieferen Lagen des ursprünglich lockeren und feinpulverigen Firnschnees werden zusammengedrückt durch die über ihnen liegenden, oft viele hundert Fuss aufgethürmten Schneemassen, und ballen sich unter diesem Druck zu immer festerem und dichterem Gefüge zusammen. Ursprünglich besteht der frisch gefallene Schnee aus zarten, mikroskopisch feinen Eisnadelchen, die zu ungemein zierlichen sechsstrahligen und federähnlich ausgefranseten Sternen zusammengesetzt sind. Dadurch, dass von den oberen Lagen der Schneefelder her, so oft diese der Sonnenwärme ausgesetzt sind, Wasser einsickert, und wo es in den tieferen Lagen noch kälteren Schnee antrifft, wieder gefriert, wird der Firn zuerst körnig und auf die Temperatur des Gefrierpunktes gebracht. Indem nun aber das Gewicht der überlagernden Schneemassen immer mehr und mehr wächst, verwandelt er sich durch festeres Aneinanderhaften seiner einzelnen Körnchen endlich in eine ganz dichte und harte Eismasse.

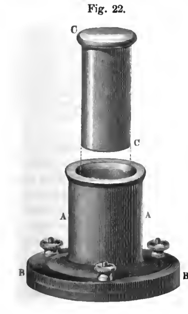
Wir können diese Verwandlung von Schnee in Eis auch künstlich vollziehen, wenn wir einen entsprechenden Druck anwenden.

Sie sehen hier (Fig. 22 a. f. S.) ein cylindrisches Gefäss AA aus Gusseisen; die Bodenplatte BB wird durch drei Schrauben festgehalten, und kann abgenommen werden, um die in dem Cylinder gebildeten Eiscylinder herauszunehmen. Nachdem das Gefäss eine Weile in Eiswasser gelegen hat, um es bis 0° abzukühlen, wird es mit Schnee vollgestopft und dann der cylindrische Stempel CC, der die innere Höhlung ausfüllt, aber noch leicht in ihr

*) Siehe die Zusätze am Schlusse dieser Vorlesung.

gleitet, mit Hülfe einer hydraulischen Presse hineingetrieben. Die angewendete Presse erlaubt den Druck, dem der Schnee ausgesetzt ist, bis auf funfzig Atmosphären zu steigern. Natürlich

Fig. 22.



schwindet der lockere Schnee unter einem so gewaltigen Drucke in ein sehr kleines Volumen zusammen. Man lässt mit dem Drucke nach, nimmt den Stempel heraus, füllt den leeren Theil des Cylinders wieder mit Schnee aus, presst wieder, und fährt so fort, bis die ganze Höhlung der Form mit Eismasse angefüllt ist, die dem Drucke nicht mehr nachgiebt. Wenn ich nun den gepressten Schnee herausnehme, werden Sie sehen, dass er zu einem ganz harten, scharfkantigen und trübe durchscheinenden Eiscylinder geworden ist. Wie hart er ist, werden Sie an dem Krachen hören, mit dem er zerschellt, wenn ich ihn gegen den Boden schleudere.

So wie der Firnschnee in den Gletschern zu dichtem Eise zusammengepresst wird, so werden nun aber auch fertig gebildete unregelmässige Eisstücke an vielen Stellen wieder in dichtes klares Eis vereinigt. Am auffallendsten geschieht dies am Fusse der Gletschercascaden. Es kommen Gletscherfälle vor, wo ein oberer Theil des Gletschers an einer steilen Felswand endigt, und seine Eisblöcke nach einander als Lavinen über den Rand dieser Wand hinabstürzen. Das Haufwerk von zerschellten Eisblöcken, welches sich in Folge davon unten ansammelt, vereinigt sich dann wieder am Fusse der Felswand zu einer zusammenhängenden dichten Eismasse, welche ihren Weg als Gletscher unten fortsetzt. Sehr viel häufiger noch als solche Cascaden, wo der Gletscherstrom ganz abreisst, sind aber Stellen, wo der Thalboden sich schneller senkt, wie die schon vorher erwähnten Stellen des Eismeers Fig. 14 bei *g*, der Cascade des Glacier du Géant, bei *i* und bei *h* der grossen Endcascade des Glacier des Bois. Da zerspaltet das Eis in Tausende von Bänken und Klippen, die sich doch wieder am unte-

ren Ende der steileren Senkung zu einer zusammenhängenden Masse vereinigen.

Auch dies können wir nachmachen in unserer eisernen Form; ich werfe statt des Schnees, den ich vorher hineinthat, nun eine Anzahl unregelmässig geformter Eisstückchen hinein und presse sie zusammen; fülle dann neue Eisstücke nach, presse wieder und fahre damit fort bis die Form voll ist. Wenn ich die Masse herausnehme, so bildet sie einen zusammenhängenden festen Cylinder, von ziemlich klarem Eise, welcher vollkommen scharfkantig ausgepresst ist und sich vollkommen genau der inneren Fläche der Form anfügt.

Dieser Versuch, der von Tyndall zuerst ausgeführt wurde, zeigt, dass auch ein fertiger Eisblock wie Wachs in eine jede beliebige Form gepresst werden kann. Man könnte nun etwa daran denken, dass ein solcher Block durch den Druck im Innern der Presse erst zu so feinem Pulver zermalmt würde, dass es sich in jede Ecke der Form einfügen kann, und dass dann dieses Eispulver, wie Schnee, wieder durch Zusammenfrieren vereinigt würde. Man könnte daran um so mehr denken, als man in der That, während die Presse angetrieben wird, fortdauerndes Knarren und Knacken des Eises im Innern der Form hört. Indessen schon das Ansehen der aus Eisblöcken gepressten Cylinder kann uns belehren, dass sie nicht in dieser Weise entstanden sind. Sie sind nämlich im Ganzen klarer als das aus Schnee entstandene Eis, und man erkennt in ihnen noch die einzelnen grösseren Eisstücke, freilich in veränderter und plattgepresster Form wieder, die man dabei verwendet hat. Am schönsten ist dies der Fall, wenn man in die Form klare Eisstücke legt und die übrig bleibenden Hohlräume mit Schnee ausstopft. Dann zeigt der Cylinder abwechselnde Schichten klaren und trüben Eises; ersteres von den Eisstücken, letzteres vom Schnee herrührend. Die klaren Eisstücke zeigen sich aber auch in diesem Falle in platte Scheiben zusammengepresst.

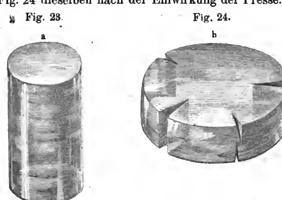
Diese Beobachtungen lehren also schon, dass das Eis nicht etwa vorher vollständig zerstrümmert zu werden braucht, um sich in die vorgeschriebene Form zu fügen, sondern dass es nachgeben kann, ohne seinen Zusammenhang zu verlieren. Wir können uns davon aber in noch viel auffallenderer Weise überzeugen und zugleich einen besseren Einblick in den Grund der Nachgiebigkeit des Eises gewinnen, wenn wir das Eis nicht in der verschlossenen

Form, in die wir nicht hineinsehen können, sondern frei zwischen zwei ebenen Holzplatten zusammenpressen.

Ich stelle zunächst ein unregelmässig cylindrisches Stück natürlichen Eises, von der gefrorenen Oberfläche des Flusses entnommen, und mit zwei ebenen Endflächen versehen zwischen die Platten der Presse. Ich treibe die Presse an; durch den Druck wird der Block zerbrochen; jeder Riss, der sich bildet, läuft durch die ganze Dicke des Blocks, dieser zerfällt in einen Haufen von grösseren Trümmern, die noch weiter zerspalten und zerbrochen werden, indem ich die Presse weiter antreibe. Lasse ich mit dem Drucke nach, so sind alle diese Eistrümmer allerdings durch Zusammenfrieren wieder zu einer Art unregelmässiger Platte vereinigt, aber man sieht es dem Ganzen an, dass die Form des Eisblockes weniger durch Nachgiebigkeit als durch Zerbrechen verändert worden ist, und dass die einzelnen Bruchstücke ihre Lage gegen einander vollständig geändert haben.

Sehr viel anders gestaltet sich die Sache, wenn ich einen von unseren aus Schnee oder Eis gepressten Cylindern zwischen die Platten der Presse stelle. So oft ich die Presse antreibe, hört man auch diesen knarren und knacken, aber er bricht nicht aus einander, er verändert vielmehr ganz allmälig seine Form, wird immer niedriger, dafür aber dicker, und erst zuletzt, wenn derselbe sich schon in eine ziemlich platte Kreisscheibe verwandelt hat, fängt er an, am Rande einzureissen und Spalten zu bilden, gleichsam Gletscherspalten im Kleinen. Fig. 23 zeigt Höhe und Durchmesser eines solchen Cylinders in seinem Anfangszustande, dagegen Fig. 24 dieselben nach der Einwirkung der Presse.

Fig. 23. Fig. 24.



Eine noch stärkere Probe für die Nachgiebigkeit des Eises aber ist es, wenn wir einen unserer in der Form gepressten Cylinder durch eine enge Oeffnung hindurchtreiben. Dazu setze ich eine Bodenplatte an die vorher beschriebene cylindrische Form an, welche eine konisch sich verengernde Durchbohrung hat, deren äussere Oeffnung einen nur 2/3 so grossen Durchmesser als die cylindrische Höhlung der Form hat (Fig. 25 zeigt einen Querschnitt des Ganzen). Wenn ich nun in die Form einen der vorher darin gepressten Eiscylinder einsetze, und den Stempel antreibe, so wird das Eis gezwungen, sich durch die engere Oeffnung in der Bodenplatte hindurch zu drängen. Man sieht es nun anfangs als einen soliden Cylinder von dem Durchmesser der Oeffnung austreten. Da aber in der Mitte der Oeffnung das Eis schneller nachdrängt als an ihren Rändern, so wölbt sich die freie Endfläche des Cylinders, sein Ende verdickt sich, so dass es nicht mehr durch die Oeffnung zurückgezogen werden kann, und spaltet endlich auf. Fig. 26, *a*, *b*, *c*, zeigt eine Reihe von Formen, die in dieser Weise zu Stande kommen.

Fig. 25.

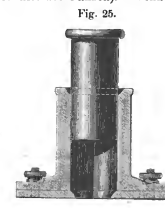




Fig. 26.



Auch in diesem Falle zeigen die Spalten des hervorquellenden Eiscylinders eine auffallende Aehnlichkeit mit den longitudinalen Spalten, die einen Gletscherstrom zertheilen, wo ein solcher sich durch ein enges Felsenthor in ein weiteres Thal hinausdrängt*).

*) Bei diesem Versuche verbreitete sich die niedrigere Temperatur des gepressten Eises zuweilen so weit durch die eiserne Form, dass das Wasser in dem Spalt zwischen der Bodenplatte und dem Cylinder zu einem dünnen Eisblatt gefror, obgleich die Eisstücke sowohl wie die eiserne Form vorher in Eiswasser lagen, und also nicht kälter als 0° waren.

In den beschriebenen Fällen sehen wir nun die Formveränderung des Eises vor unseren Augen vorgehen, wobei der Eisblock im Ganzen seinen Zusammenhang behält, ohne in einzelne Stücke zu zerspringen. Der spröde Eisblock giebt vielmehr scheinbar nach wie Wachs.

Eine genauere Betrachtung eines klaren, aus klaren Eisstücken zusammengepressten Cylinders in den Momenten, wo wir die Presse antreiben, lässt uns aber auch erkennen, was in seinem Innern geschieht. Wir sehen nämlich dann eine unermessliche Zahl äusserst feiner verzweigter Sprünge wie eine trübe Wolke durch ihn hinschiessen, die zum grossen Theil in den nächsten Augenblicken, wenn man die Presse ruhen lässt, wieder verschwinden, aber doch nicht ganz. Ein solcher umgepresster Block ist unmittelbar nach dem Versuche merklich trüber, als er vorher war, und die Trübung rührt, wie man durch die Loupe erkennen kann, von einer grossen Zahl haarfeiner weisslicher Linien her, welche das Innere der übrigens klaren Eismasse durchziehen. Diese Linien sind der optische Ausdruck äusserst feiner Spalten*), welche sich durch die Masse des Eises hinziehen.

Wir dürfen daraus schliessen, dass der gepresste Eisblock von einer grossen Zahl feiner Sprünge und Spalten durchrissen wird, dass er dadurch nachgiebig wird, dass seine Theilchen sich ein wenig verschieben und dadurch dem Drucke entziehen, und dass unmittelbar hinterher der grössere Theil der Spaltensysteme durch Zusammenfrieren wieder verschwindet; und nur, wo durch die Verschiebung bewirkt ist, dass die Oberflächen der kleinen verschobenen Eispartikelchen nicht genau auf einander passen, bleiben Reste der Spalträume offen, und verrathen sich durch Reflexion des eindringenden Lichtes als weissliche Linien und Flächen.

Diese Sprünge und Trennungsflächen in dem gepressten Eise

---

*) Diese Spalten sind wahrscheinlich ohne Inhalt und luftleer; denn sie bilden sich auch ebenso aus, wenn man klare luftfreie Eisstücke in der ganz mit Wasser gefüllten eisernen Form zusammenpresst, wo gar keine Luft zu den Eisstücken zutreten kann. Dass dergleichen luftfreie Spalträume im Gletschereis vorkommen, hat schon Tyndall nachgewiesen. Wenn das gepresste Eis später langsam zerschmilzt, füllen sich diese Spalten vollständig mit Wasser aus, ohne dass Luftblasen zurückbleiben. Dann werden sie aber sehr viel weniger sichtbar, und der ganze Block daher viel klarer. Eben deshalb können sie im Anfang nicht mit Wasser gefüllt sein.

machen sich auch weiter sehr merklich, wenn das Eis, welches unmittelbar nach dem Pressen, wie ich vorher auseinandersetzte, kälter geworden ist, als 0°, sich wieder bis zu dieser Temperatur erwärmt, und allmälig in das Schmelzen übergeht. Dann füllen sich nämlich die Spalten mit Wasser, und solches Eis besteht dann aus einer Menge kleiner stecknadelkopf- bis erbsengrosser Eiskörner, die mit ihren Vorsprüngen und Zacken eng ineinander geschoben sind, und stellenweise auch wohl noch verwachsen sind, während sich die engen Spalten zwischen ihnen mit Wasser gefüllt haben. Ein solcher aus Eiskörnern zusammengesetzter Block haftet fest zusammen, bricht man aber von seinen Kanten mit dem Fingernagel Eistheilchen los, so zeigen sich diese in Gestalt solcher vieleckiger Körnchen. Genau dieselbe Zusammensetzung zeigt übrigens schmelzendes Gletschereis, nur dass die Stücke, aus denen es zusammengesetzt ist, meist grösser sind, als in dem künstlich gepressten Eise, und die Grösse von Taubeneiern erreichen.

Gletschereis und gepresstes Eis erweisen sich also als Substanzen von körniger Structur im Gegensatz zu dem regelmässig krystallinischen Eise, wie es sich auf der Oberfläche ruhiger Gewässer ausbildet. Wir finden hier beim Eise denselben Unterschied, wie zwischen Kalkspath und Marmor, welche beide aus kohlensaurem Kalk bestehen; jener bildet aber regelmässige grosse Krystalle, während der Marmor aus unregelmässig zusammengebackenen krystallinischen Körnern besteht. Im Kalkspath wie in dem krystallinischen Eise erstrecken sich Sprünge, die man durch ein angesetztes Messer hervorbringt, weit hin durch die Masse, während in dem körnigen Eise ein Sprung, der in einem der Körner entsteht, wo es nachgeben muss, nicht nothwendig über die Grenzen des Korns hinausreisst.

Eis, was künstlich aus Schnee gepresst wurde, und daher von Anfang an aus unzähligen, sehr feinen Krystallnadelchen zusammengesetzt ist, zeigt sich als besonders plastisch. Doch unterscheidet es sich zunächst im Aussehen sehr beträchtlich vom Gletschereis, weil es sehr trübe ist, wegen der grossen Menge von Luft, die in der flockigen Masse des Schnees eingeschlossen war, und in Form feiner Bläschen darin zurückbleibt. Man kann es aber klarer machen, wenn man einen Cylinder solchen Eises zwischen Holzplatten umpresst; dann sieht man aus der Oberfläche des Cylinders die Luftbläschen als feinen Schaum entweichen. Zerbricht man die gebildete Eisscheibe wieder, bringt die Stücken in die eiserne Form, und presst sie wieder in einen Cylinder zusammen,

so kann man die Luft aus dem Eise durch solches fortgesetztes Umkneten immer mehr entfernen, und es immer klarer machen. In derselben Weise wird auch wohl in den Gletschern die weissliche Firnmasse allmälig in das klare durchsichtige Gletschereis verwandelt.

Endlich wenn man gebänderte Eiscylinder, die aus Schnee- und Eisstücken zusammengepresst sind, zu Scheiben auspresst, so werden sie fein gebändert, indem sowohl ihre klaren wie ihre weisslichen Lagen sich gleichmässig strecken.

Solch gebändertes Eis kommt in vielen Gletschern vor, und entsteht nach Tyndall wahrscheinlich dadurch, dass Schnee zwischen die Blöcke von Eiscascaden hineinfällt, dass dann diese Mischung von Schnee und klarem Eis im weiteren Verlaufe des Gletschers wieder zusammengepresst, und durch die Bewegung der Masse allmälig gestreckt wird; ein Vorgang, der dem von uns künstlich ausgeführten ganz analog ist.

Sie sehen, wie vor dem Auge des Naturforschers der Gletscher mit seinen wirr über einander gethürmten Eisblöcken, seinen öden, steinigen und schmutzigen Eisflächen, seinen Verderben drohenden Spalten zu einem majestätischen Strome geworden ist, der ruhig und regelmässig wie kein anderer dahinfliesst, der nach fest bestimmten Gesetzen sich verengt, ausbreitet, aufstaut oder brandend und zerschellend sich an Abhängen hinunterstürzt. Verfolgen wir ihn nun noch schliesslich über sein Ende hinaus, so sehen wir das durch Schmelzung erzeugte Wasser zu einem starken Bache vereinigt durch das Eisportal des Gletschers hervorbrechen und davonfliessen. Freilich sieht ein solcher Bach zunächst, wie er da unter dem Gletscher zum Vorschein kommt, schmutzig und schlammig genug aus, weil all der Steinstaub, den der Gletscher abgeschliffen hat, mit fortgeschwemmt wird. Man fühlt sich enttäuscht, wenn man das wunderbar schöne und durchsichtige Eis in so schlammiges Wasser verwandelt sieht. In der That ist das Wasser der Gletscherbäche an sich ebenso schön und rein wie das Eis, wenn auch zunächst seine Schönheit verhüllt und unsichtbar ist. Man muss diese Bäche wieder aufsuchen, wenn sie durch einen See gegangen sind, und in diesem ihren Steinstaub abgesetzt haben. Der Genfer, Thuner, Vierwaldstätter, Bodensee, der Lago maggiore, der Comer- und Garda-See werden hauptsächlich durch Gletscherwasser gespeist; die Klarheit und die wunderbar schöne blaue oder blaugrüne Farbe ihres Wassers ist das Entzücken aller Reisenden.

Doch lassen wir die Schönheit und fragen wir nach dem Nutzen, so werden wir noch mehr Grund zur Bewunderung finden. Das hässliche Steinpulver, welches die Gletscherbäche fortschwemmen, giebt, wo es sich absetzt, ein für die Vegetation höchst vortheilhaftes Erdreich. Einmal ist es in mechanischer Beziehung äusserst fein zermahlen, und zweitens ist es ein vollkommen unerschöpfter und an mineralischen Pflanzennährstoffen sehr reicher jungfräulicher Boden. Die fruchtbaren Schichten feinen Lehms, welche sich durch das ganze Rheinthal bis nach Belgien hinabziehen, der sogenannte Löss, ist in der That alter Gletschersteinstaub.

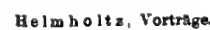
Dann zeichnet sich auch die Bewässerung einer Gegend, welche durch die Schneefelder und Gletscher der Hochgebirge unterhalten wird, vor jeder anderen im Allgemeinen aus, erstens dadurch, dass sie verhältnissmässig sehr reichlich ist, weil feuchte Luft, welche über die kalten Höhen der Gebirge getrieben wird, das meiste Wasser, was sie enthält, dort als Schnee absetzt. Zweitens schmilzt der Schnee im Sommer am schnellsten, und deshalb sind die Quellen, welche von den Schneefeldern herkommen, gerade in der Jahreszeit am reichlichsten, wo man des Wassers am meisten bedarf.

So lernen wir also schliesslich die wilden todten Eiswüsten noch von einer anderen Seite kennen; aus ihnen rieselt in tausend Aederchen, Quellen und Bächen das befruchtende Nass hervor, welches den fleissigen Alpenbewohnern erlaubt, saftiges Grün und Fülle der Nahrung den wilden Berggehängen abzugewinnen. Sie erzeugen auf der verhältnissmässig kleinen Oberfläche der Alpenkette die mächtigen Ströme, den Rhein, die Rhone, den Po, die Etsch, den Inn, welche auf Hunderte von Meilen hinaus Europa in reichen breiten Flussthälern durchziehen bis zur Nordsee, bis zum Mittelmeere, zum adriatischen und schwarzen Meere. Erinnern Sie sich, wie gross Goethe in Mahomet's Gesang den Lauf des Felsenquells von seinem Ursprung über Wolken bis zur Vereinigung mit dem Vater Ocean dargestellt hat. Es wäre vermessen, nach ihm eine solche Schilderung in anderen als seinen Worten geben zu wollen:

Und im rollenden Triumphe
Giebt er Ländern Namen, Städte
Werden unter seinem Fuss.
Unaufhaltsam rauscht er weiter,
Lässt der Thürme Flammengipfel,

Marmorhäuser, eine Schöpfung
Seiner Fülle, hinter sich.
Cedernhäuser trägt der Atlas
Auf den Riesenschultern; sausend
Wehen über seinem Haupte
Tausend Flaggen durch die Lüfte,
Zeugen seiner Herrlichkeit.

Und so trägt er seine Brüder,
Seine Schätze, seine Kinder
Dem erwartenden Erzeuger
Freudebrausend an das Herz.



Zusätze.

Die Theorie der Regelation des Eises hat zu wissenschaftlichen Discussionen zwischen Faraday und Tyndall auf der einen, J. und W. Thomson auf der anderen Seite Veranlassung gegeben. Ich habe im Texte der Vorlesung die Theorie der letzteren acceptirt, und muss mich deshalb hier rechtfertigen.

Die Versuche, welche Faraday angestellt hat, zeigen, dass ein äusserst geringer Druck genügt, sogar der Druck, den die Capillarität der zwischen den Eisstücken lagernden Wasserschicht hervorbringt, um dieselben aneinander frieren zu machen. Dass in den Versuchen von Faraday nicht absolut jeder Druck fehlte, der die Eisstücke aneinander heftete, hat James Thomson schon bemerkt. Aber ich habe mich durch eigene Versuche überzeugt, dass der Druck sehr gering sein kann. Nur ist zu bemerken, dass je geringer der Druck ist, desto länger auch die Zeit wird, welche die beiden Eisstücke gebrauchen, um zusammenzufrieren, und dass dann auch die Verbindungsbrücken zwischen ihnen sehr schmal sind und sehr leicht zerbrechen. Beides erklärt sich aber leicht aus der von J. Thomson gegebenen Theorie. Denn bei schwachem Drucke wird die Temperaturdifferenz zwischen Eis und Wasser sehr klein, und den mit den gepressten Theilen des Eises in Berührung stehenden Wasserschichten wird also ihre latente Wärme äusserst langsam entzogen, so dass sie nothwendig lange Zeit brauchen, um zu gefrieren. Wir werden ferner auch berücksichtigen müssen, dass wir die beiden sich berührenden Eisflächen der Regel nach nicht als absolut congruent betrachten dürfen; unter schwachem Drucke, der ihre Form nicht merklich verändern kann, werden sie sich also nur mit je drei fast punktförmigen Stellen berühren. Auf so schmale Berührungsflächen concentrirt, wird auch ein schwacher Gesammtdruck auf die Eisstücke immerhin noch eine ziemlich grosse örtliche Pressung hervorbringen können, unter deren Einfluss etwas Eis schmilzt, und das gebildete Wasser gefriert. Aber die Vereinigung wird eben nur eine schmale werden können.

Bei stärkerem Druck, der die Form der gepressten Eisstücke mehr ver-

ändern und einander anpassen kann, und auch ein stärkeres Abschmelzen der sich zuerst berührenden Vorsprünge zur Folge haben wird, werden wir grössere Temperaturdifferenzen zwischen Eis und Wasser, daher schnellere Bildung und grössere Breite der Verbindungsbrücken erhalten.

Um die langsame Wirkung der hierbei vorkommenden kleinen Temperaturunterschiede nachzuweisen, habe ich folgenden Versuch ausgeführt: Ein gläserner Kolben mit ausgezogenem Halse wurde zur Hälfte mit Wasser gefüllt, dieses gekocht, so dass die Luft des Kolbens durch die Dämpfe ausgetrieben wurde, endlich der Hals des siedenden Kolbens zugeschmolzen. Nach dem Erkalten ist der Kolben luftleer und das in ihm enthaltene Wasser vom Drucke der Atmosphäre befreit. Da das in dieser Weise eingeschlossene Wasser beträchtlich unter 0° abgekühlt werden kann, ehe es das erste Eis bildet, wenn dies aber gebildet ist, auch bei 0° weiter gefriert, so wurde der Kolben erst in eine Kältemischung gesetzt, bis das Wasser in Eis verwandelt war, welches ich nachher langsam in einem Raum von + 2° wieder zur Hälfte schmelzen liess.

Nun wurde der Kolben, auf dessen Wasser also noch eine Eisscheibe schwamm, in ein Gemisch von Eis und Wasser gesetzt, und damit ganz umgeben. Nach einer Stunde etwa war die innere Eisscheibe an die Glaswand des Kolbens angefroren. Sie wurde durch Schütteln desselben wieder frei gemacht, und fror dann später, so oft dies wiederholt wurde, immer wieder an. Der Kolben wurde acht Tage lang in dem Eisgemisch von 0° erhalten. Dabei bildeten sich an seinem Boden im Wasser sehr regelmässige und scharf begrenzte Eiskrystalle aus, die sehr langsam wuchsen. Es ist dies vielleicht die beste Methode, um schön ausgebildete Eiskrystalle zu erhalten.

Während also das äussere Eis, welches unter dem Drucke einer Atmosphäre stand, langsam wegschmolz, bildete das innere Wasser, dessen Gefrierpunkt wegen mangelnden Druckes um 0,0075° höher ist, Eiskrystalle. Die dem Wasser entzogene Wärme musste dabei noch die ganze Dicke der Glaswand des Kolbens passiren, was neben der geringen Grösse des Temperaturunterschiedes die Langsamkeit des Gefrierens erklärt.

Da nun der Druck einer Atmosphäre auf ein Quadratmillimeter etwa 10 Grm. beträgt, so wird ein Eisstückchen von 10 Grm. Gewicht, welches auf einem anderen liegt, und dieses mit drei Spitzchen berührt, deren Berührungsflächen zusammengenommen ein Quadratmillimeter betragen, an diesen Spitzen schon einen Druck von einer Atmosphäre hervorbringen, und Eisbildung in dem benachbarten Wasser sogar sehr viel schneller bewirken können, als es in dem Kolben geschah, wo sich die Glaswand zwischen das Eis und Wasser einschob. Ja selbst bei viel kleinerem Gewichte des Eisstückchens wird dasselbe im Verlauf einer Stunde noch geschehen können. In dem Maasse freilich als durch das neugebildete Eis die Verbindungsstellen breiter werden, wird sich der Druck, den das obere Eisstückchen ausübt, auf grössere Flächen vertheilen müssen und schwächer werden, so dass die Verbindungsbrücken bei so schwachem Druck nur wenig und langsam zunehmen können, und daher auch leicht wieder zerbrechen werden, wenn man die Eisstücke zu trennen sucht.

Dass übrigens bei Faraday's Versuchen, wo zwei durchlöcherte Eisscheiben auf einem horizontalen Glasstabe ohne einen durch die Schwere

bewirkten Druck neben einander hingen, die Capillarattraction hinreichend ist, um einen Druck der Platten gegen einander von einigen Grammen hervorzubringen, ist wohl nicht zweifelhaft, und die vorausgeschickten Erörterungen zeigen, dass ein solcher Druck hinreichen konnte, im Laufe einer genügenden Zeit Verbindungsbrücken zwischen den Platten herzustellen.

Wenn man dagegen zwei von den oben beschriebenen Eiscylindern mit den Händen kräftig aneinander presst, so haften sie nach einigen Augenblicken so fest zusammen, dass man sie nur mit beträchtlicher Anstrengung wieder auseinander brechen kann, ja dass zuweilen die Kraft der Hände dazu nicht ausreicht.

Ich fand überhaupt bei meinen Versuchen die Stärke und Schnelligkeit der Verbindung der Eisstücke so durchaus dem angewendeten Drucke entsprechend, dass ich nicht zweifeln kann, dass der Druck wirklich die zureichende Ursache ihrer Vereinigung sei.

Bei der von Faraday vorgeschlagenen Erklärung, wonach die Regelation durch eine Contactwirkung des Eises auf das Wasser erfolgen soll, finde ich eine theoretische Schwierigkeit. Durch das Gefrieren des Wassers muss eine recht beträchtliche Quantität latenter Wärme frei werden, und es ist nicht einzusehen, wo diese bleibt.

Endlich wenn der Uebergang von Eis in Wasser durch einen dickflüssigen Mittelzustand hindurch erfolgte, so müsste ein Gemisch von Eis und Wasser, was man Tage lang in der Temperatur von 0° erhielte, endlich diesen Zustand gleichmässig durch seine ganze Masse annehmen, sobald es vollkommen gleichmässig die genannte Temperatur angenommen hätte; das ist aber nie der Fall.

Was die sogenannte Plasticität des Eises betrifft, so hat James Thomson davon eine Erklärung gegeben, bei welcher die Bildung von Sprüngen im Innern des Eises nicht vorausgesetzt ist. Auch ist es in der That unzweifelhaft, dass wenn eine Eismasse in verschiedenen Theilen ihres Innern verschieden starke Pressungen erleidet, ein Theil des stärker gepressten Eises abschmelzen muss, wozu ihm das weniger gepresste Eis und das mit diesem in Berührung stehende Wasser würde die latente Wärme liefern müssen. So würde also an den gepressten Stellen Eis wegthauen, an den nicht gepressten Wasser gefrieren, und das Eis würde auf diese Weise sich in der That allmälig umformen und dem Drucke nachgehen können. Nur ist auch klar, dass bei der sehr schlechten Wärmeleitungsfähigkeit des Eises ein solcher Process ausserordentlich langsam vor sich gehen muss, wenn die gepressten und kälteren Eisschichten, wie es in den Gletschern der Fall ist, durch weite Strecken von den weniger gepressten und von dem Wasser entfernt sind, welches ihnen Wärme zum Schmelzen abgeben soll.

Um diese Theorie zu prüfen, legte ich in einem cylindrischen Glasgefässe zwischen zwei Eisscheiben von 3 Zoll Durchmesser ein kleineres cylinderförmiges Stück von etwa 1 Zoll Durchmesser, und belastete die oberste Eisscheibe mit einer Holzscheibe und diese mit einem Gewichte von 20 Pfund. Dadurch war der Querschnitt des schmalen Stücks einem Drucke von mehr als einer Atmosphäre ausgesetzt. Das ganze Gefäss wurde zwischen Eisstücke gepackt, und 5 Tage lang in ein Zimmer gestellt, dessen

Temperatur wenige Grade über dem Gefrierpunkte lag. Unter diesen Umständen musste das Eis in dem Glase, welches dem Drucke des Gewichtes ausgesetzt war, schmelzen, und man konnte erwarten, dass der schmale Cylinder, auf den der Druck am stärksten wirkte, hätte am meisten schmelzen sollen. Es bildete sich auch etwas Wasser in dem Gefässe, aber hauptsächlich auf Kosten der grösseren Eisscheiben, die oben und unten lagen und zunächst von der äusseren Mischung von Eis und Wasser durch die Wände des Gefässes hindurch Wärme aufnehmen konnten. Auch bildete sich ein kleiner Wall von neuem Eise rings um die Berührungsstelle des schmaleren mit dem unteren breiteren Eisstück, welcher erkennen liess, dass das Wasser, welches sich unter dem Einfluss des Druckes gebildet hatte, da, wo der Druck aufhörte, wieder gefroren war. Doch war unter diesen Umständen noch keine merkliche Formveränderung des mittleren am meisten gepressten Stückes eingetreten.

Dieser Versuch zeigt, dass wenn auch in langer Zeit Formveränderungen der Eisstücke im Sinne von J. Thomson's Erklärung eintreten müssen, wodurch die stärker gepressten Theile fortschmelzen, und neues Eis an den von Druck freien Stellen sich bildet, diese Veränderungen doch ausserordentlich langsam von Statten gehen müssen, wo die Dicke der Eisstücke, durch welche die Wärme geleitet wird, einigermaassen erheblich ist. Eine beträchtliche Formveränderung durch Abschmelzen inmitten einer Umgebung, deren Temperatur überall 0° ist, würde eben ohne Zuleitung von Wärme von aussen oder von dem nicht gepressten Eise und Wasser her nicht geschehen können, und diese wird bei den geringen Temperaturunterschieden, die hier in Betracht kommen, und bei der schlechten Wärmeleitungsfähigkeit des Eises äusserst langsam geschehen.

Dass dagegen, namentlich in körnigem Eise, die Bildung von Sprüngen und Verschiebung der Grenzflächen der Sprünge gegen einander eine Formänderung möglich macht, zeigen die oben beschriebenen Versuche über Pressung, und dass im Gletschereise in solcher Weise Formänderungen vor sich gehen, ergiebt sich deutlich aus der gebänderten Structur, aus der körnigen Aggregation, die beim Abschmelzen zu Tage kommt, der Art wie die Schichten ihre Lage bei der Bewegung verändern und so weiter. Ich zweifele deshalb nicht, dass Tyndall den wesentlichen und hauptsächlichen Grund der Bewegung der Gletscher bezeichnet hat, indem er sie auf Bildung von Sprüngen und Regelation zurückführte.

Daneben möchte ich noch daran erinnern, dass eine nicht unbeträchtliche Quantität von Reibungswärme in den grösseren Gletschern erzeugt werden muss. Die Rechnung ergiebt in der That, dass wenn eine Firnmasse vom Col du Géant bis zur Quelle des Arveyron herabrückt, ihr vierzehnter Theil geschmolzen werden kann durch die von der mechanischen Arbeit erzeugte Wärme. Da nun die Reibung an den am meisten gepressten Stellen der Eismasse am grössten sein muss, wird sie allerdings auch dazu dienen, gerade diejenigen Theile des Eises fortzunehmen, die dem Fortrücken am meisten hinderlich sind.

Schliesslich will ich noch erwähnen, dass die oben beschriebene körnige Structur des Eises sich sehr hübsch im polarisirten Lichte zeigt. Wenn man in der eisernen Form ein kleines klares Eisstück zu einer Scheibe von etwa 5 Millimeter Dicke auspresst, so ist diese durchsichtig genug, um

untersucht zu werden. Man sieht dann im Polarisationsapparate in ihrem Innern eine grosse Menge verschiedenfarbiger kleiner Felder und Ringe, und erkennt durch die Anordnung der Farben leicht die Grenzen der Eiskörnchen, welche, mit mannigfach verworfener Richtung ihrer optischen Axe aneinander gelagert, die Platte zusammensetzen. Der Anblick ist im Wesentlichen derselbe, sowohl im Anfang, wenn man die Platte eben aus der Presse genommen hat und die Sprünge in ihr noch als weissliche Linien erscheinen, wie später, wenn durch beginnende Schmelzung die Spalten sich mit Wasser gefüllt haben.

Um während der Umformung des Eisstücks den Fortbestand des Zusammenhangs des Eisstücks zu erklären, ist zu beachten, dass der Rege nach die Spalten in dem körnigen Eise nur Einrisse in das Stück bilden und nicht vollständig durchgehen. Das sieht man direct beim Presser des Eises. Die Spalten bilden sich, schiessen nach verschiedenen Seiter hin, wie Sprünge, die durch einen heissen Draht in einer Glasröhre erzeug sind. Eine gewisse Elasticität kommt dem Eise zu, wie man an dünner biegsamen Platten desselben sehen kann. Ein solcher eingerissener Eis block wird also eine Verschiebung der den Spalt begrenzenden beiden Se ten erleiden können, selbst wenn diese noch durch den ungespaltenen The des Blocks continuirlich zusammenhängen. Wenn dann der erst gebildet Theil des Spalts durch Regelation geschlossen wird, kann schliesslich de Spalt nach der andern Seite hin ganz durchreissen, ohne dass zu irgen einer Zeit der Zusammenhang des Blocks vollständig aufgehoben wäre. S erscheint es mir auch zweifelhaft, ob bei dem scheinbar aus verschränkte polyëdrischen Körnern bestehendem gepressten Eise und Gletschereise d Körner, schon ehe man sie zu trennen sucht, vollständig von eina der gelöst, und nicht vielmehr durch Eisbrücken, welche leicht zerbreche mit einander verbunden sind, und ob nicht letztere den verhältnissmäss festen Zusammenhang des scheinbaren Haufwerks von Körnchen vermitte

Diese hier beschriebenen Eigenschaften des Eises sind auch in phy kalischer Beziehung von Interesse, weil sich hier der Uebergang eines kı stallinischen Körpers in einen körnigen so genau verfolgen, und die U sachen, von denen die damit verbundene Veränderung seiner Eigenschaft abhängt, wie es scheint, besser erkennen lassen, als bei irgend einem a dern bekannten Beispiel. Die meisten Naturkörper zeigen kein regelmä ges krystallinisches Gefüge, unsere theoretischen Vorstellungen passen a fast allein auf krystallinische und vollkommen elastische Körper. Ger in dieser Beziehung scheint mir der Uebergang des brüchigen und ela schen krystallinischen Eises in das plastische körnige Eis ein sehr bel rendes Beispiel zu sein.